

Aus dem Institut für Arbeits- und Sozial-Medizin
der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Professor Dr. med. H.Valentin)

Die Auswirkungen der ABC-Schutzmaske auf die ventilatorischen und blutgasanalytischen Funktionsgrößen in Ruhe und bei Arbeitsbelastung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Klaus Müller
aus
Münchberg/Ofr.

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der
Universität Erlangen - Nürnberg.



Dekan: Prof. Dr. A. Kröncke
Referent: Prof. Dr. H. Valentin
Korreferent: Prof. Dr. A. Windorfer

Tag der mündlichen Prüfung: 18. 3. 1969

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung: Problemstellung und Ziel der Arbeit
2. Schutzmasken: Geschichtlicher Überblick und bisherige
Untersuchungen ihrer Wirkung auf Atmung
und Kreislauf
3. Untersuchungsgut, Geräte, Untersuchungsgang
 - a) Auswahl der Probanden
 - b) Gerätebeschreibung
 - ABC-Schutzmaske
 - Ganzkörperplethysmograph
 - Fahrradergometer
 - Spirograph
 - EKG - / Pulsfrequenzregistriergerät
 - Gerät zur Blutgasanalyse
4. Statistik - Auswertung der Meßergebnisse
 - a) Allgemeines
 - b) Angewandte statistische Tests
 - c) Kurzbeschreibung der Tests - Formeln
5. Untersuchungsanordnung und Untersuchungsgang
 - a) Allgemeine Bedingungen
 - b) Untersuchungen in Ruhe
 - Ganzkörperplethysmographie
 - Gewinnung von arterialisiertem Kapillarblut,
Blutdruckmessung

- Pulsfrequenzmessung, Spirographie
- c) Messungen bei ansteigender Belastung
- d) Messungen bei hoher Dauerbelastung

6. Ergebnisse

a) Ruhewerte

- Ganzkörperplethysmographie
- Blutgasanalytische Werte, Blutdruck und Pulsfrequenzen
- Spirographische Werte

b) Spirographische Ventilationsgrößen bei ansteigender Belastung

c) Blutdruck und blutgasanalytische Werte sofort nach ansteigender Belastung

d) Pulsfrequenzen und Leistungsdauer bei ansteigender Belastung

e) Atemzeitquotient bei Ruhe, 90 Watt, 150 Watt, 240 Watt und bei Hyperventilation in Ruhe

f) Spirographische Ventilationsgrößen bei Dauerbelastung

g) Blutdruck und blutgasanalytische Werte sofort nach Dauerbelastung

h) Pulsfrequenzen und Leistungsdauer bei Dauerbelastung von 210 Watt

i) Gegenüberstellung der Einzelwerte von Atemminutenvolumen, Atemfrequenz, Atemvolumen und maximaler Sauerstoffaufnahme im steady state der letzten Arbeitsminute bei Dauerbelastung

7. Besprechung der Ergebnisse bei Ruhe, ansteigender Belastung

und Dauerbelastung

8. Zusammenfassung

Anhang

- I. Statistische Begriffe und deren Symbole, Definitionen
- II. Tabellen der Einzelwerte mit Mittel und Streuung
- III. Übersichtstafeln für alle gefundenen Größen
- IV. Literaturverzeichnis

Übersicht der Abbildungen

1 Die ersten Gasmasken aus dem Jahre 1915/16:

- a) deutsche Linienmaske
- b) französische Büchsenatmer (TISSOT)
- c) englische P.H. -Haube

2 ABC-Schutzmaske der Firma Dräger, Typ 65, Filter FE 55

3 Skizze des Ganzkörperplethysmographen der Firma Siemens, Typ Siregnost FD 90

4 Druckströmungsdiagramme und Verschlußdruckkurven ohne ABC- Schutzmaske

5 Druckströmungsdiagramme und Verschlußdruckkurven eines Probanden ohne und mit ABC-Schutzmaske

6 Proband in der Kabine des Ganzkörperplethysmographen ohne ABC-Schutzmaske

7 Proband während der Arbeitsbelastung unter ABC-Schutzmaske

8 Häufigkeitspolygone der Resistance ohne und mit ABC-Schutz- maske

- 9 Korrelationsdiagramme der totalen Resistance ohne ABC-Schutzmaske zur inspiratorischen Resistance mit ABC-Schutzmaske
- 10 Darstellung der spiographischen Ruhewerte ohne und mit ABC-Schutzmaske
- 11 Spirogramme eines Probanden ohne/mit ABC-Schutzmaske in Ruhe
- 12 Leistungsdauerdiagramme der Probanden (in %) ohne/mit ABC-Schutzmaske bei ansteigender Belastung von 90 Watt bis 210/240 Watt
- 13 Spirogramme eines Probanden ohne/mit ABC-Schutzmaske bei ansteigender Belastung von 90 Watt bis 210/240 Watt
- 14 Leistungsdauerdiagramme der Probanden (in %) ohne/mit ABC-Schutzmaske bei Dauerbelastung von 210 Watt
- 15 - 19 Korrelationsdiagramme von Atemminutenvolumen, Atemfrequenz, Atemvolumen, maximaler Sauerstoffaufnahme und Leistungsdauer der Probanden bei Dauerbelastung
- 20 Spirogramme von Probanden ohne/mit ABC-Schutzmaske bei Dauerbelastung von 210 Watt:
 - a) geringe Behinderung durch die ABC-Schutzmaske
 - b) deutliche Behinderung durch die ABC-Schutzmaske
 - c) starke Behinderung durch die ABC-Schutzmaske
- 21 Atemzeitquotient bei ansteigender Belastung von 90 Watt bis 210/240 Watt ohne und mit ABC-Schutzmaske
- 22 Säulendiagramme der Atemgrenzwerte ohne/mit ABC-Schutzmaske

- 23 Häufigkeitspolygone der maximalen Sauerstoffaufnahme bei ansteigender Belastung von 90 Watt bis 210/240 Watt ohne und mit ABC-Schutzmaske
- 24 Pulsfrequenzdiagramme bei ansteigender Belastung von 90 Watt bis 210/240 Watt und bei Dauerbelastung von 210 Watt ohne und mit ABC-Schutzmaske
- 25 Vergleich der Leistungsdauer von 23 Probanden bei Dauerbelastung von 210 Watt (ab 7. Min. 240 Watt) ohne und mit ABC-Schutzmaske

1. Einleitung: Problemstellung und Ziel der Arbeit

In der modernen Arbeitswelt spielen Schutzmasken zur Vermeidung der Inhalation von Staub, Schwebstoffen, Dämpfen und Gasen eine wichtige Rolle. Neben diesem Atmungsschutz an Arbeitsplätzen - vor allem in der chemischen, der Metallveredelungs- und der Kraftfahrzeug-Industrie sowie im Bergbau - kommt jenem von Feuerwehr und Technischem Hilfswerk bei Bränden und im Katastropheneinsatz große Bedeutung zu. Schließlich liegt seit dem Einsatz von Giftgasen während des ersten Weltkrieges und von Atomsprengkörpern am Ende des zweiten Weltkrieges sowie der Entwicklung von bakteriologischen Kampfstoffen ein besonderes Schwergewicht auf der Vervollkommnung von ABC-Schutzmasken für die Zivilbevölkerung und den Soldaten.

Bei dieser Sachlage wurde mir die Aufgabe gestellt, mit modernen funktionsanalytischen Methoden die Auswirkungen der derzeit bei der Bundeswehr eingeführten ABC-Schutzmaske auf die Ventilationsgrößen und den Gasstoffwechsel in Ruhe und bei Arbeitsbelastung zu untersuchen.

2. Schutzmasken: Geschichtlicher Überblick und bisherige Untersuchungen ihrer Wirkung auf Atmung und Kreislauf

Während des Krimkrieges in der Mitte des vorigen Jahrhunderts setzte sich der englische Chemiker Dr. Stenhouse - wie auch andere Wissenschaftler seiner Zeit - in einem Referat vor der "Königlich Schottischen Gesellschaft für Wissenschaft und Künste"

dafür ein, Giftgase (konz. NH_3) mit Granaten zu verschießen.

Gleichzeitig empfahl er für die alliierten Truppen als Atmungs-
schutz den von ihm konstruierten "Holzkohle-Respirator". Diese
erste Gasmaske (1854) wurde wie die österreichischen Staub-
und Frischluftmasken der Jahrhundertwende im Gegensatz zu
der Anwendungsmöglichkeit von Giftgasen in Kriegszeiten verges-
sen. - Noch am Anfang des ersten Weltkrieges waren deutsche
Soldaten mit dem "Mundschützer Etappe Gent" (= "Maske des AOK
Gent") ausgerüstet. Dieser bestand aus einem taschentuchgroßen
Mull-Lappen, in dem mit sodaalkalischer Natriumthiosulfatlösung
getränkte Putzwolle eingenäht war. Bei Gasangriffen mußte dieser
feucht gehalten und vor Nase und Mund gepreßt werden. Bei den
französischen Truppen behalf man sich anfangs mit angefeuchte-
ten Bekleidungsstücken und nach dem ersten Großangriff (abgebla-
senes Chlor, Ypern, April 1915) mit dem "Bottle-Respirator".
Diese mit feuchter Erde gefüllte Weinflasche ohne Boden bot bei
Atmung durch den Flaschenhals einen gewissen Schutz gegen Gift-
gase. Bis Ende 1915 hatten französische Soldaten Mundschützer
(sog. "Tampons") und englische Soldaten entsprechend präparierte
Stoffhauben, die über den Kopf gezogen wurden. Die erste Gasmas-
ke war die "Linienmaske" der deutschen Armee (August 1915).
Sie bestand aus einem beutelartigen Maskenkörper (Totraum 900 ml)
mit Kopfbändern und einem Filter, der am Maskenboden einge-
schraubt wurde. Ihr Maskenrand lag in einer bestimmten Dichtungs-
linie dem Kopf an: Stirn, Schläfen, Wangen, Kinnunterrand (R. Hans-
lian).

In der Folgezeit war bei der Weiterentwicklung von Gasmasken neben ihrer Schutzwirkung das Gewicht, die Sicht einschränkung, der Totraum und der Atemwiderstand, d.h. ihre leistungseinschränkenden Eigenschaften, ein schwieriges Problem (Koelsch, 1963 - Schleusing und Ohl, 1967).

Den Totraum versuchte man durch Rahmenmasken und durch eine bestimmte Steifheit des der Gesichtsform angepaßten Maskenkörpers (ab 1918 deutsche Ledermaske) bzw. durch eng anliegende Stoff- später Gummihauben mit einem Ausatemventil (russische Zelinski- und Awaloff-Gasmasken) zu verkleinern. Weiterhin konnte durch ein gesondertes Ausatemventil der Totraum weitgehend eingeschränkt werden, so daß heute alle Masken mit Zweiwegatmung durch ihren Totraum die Atmung nicht wesentlich beeinflussen dürften. Der Atemwiderstand der Filter ist bei gleicher Filterwirkung anscheinend nur schwer zu senken. Gegenüber der heutigen ABC-Schutzmaske mit einem Filterwiderstand von 5 bis 6 mm WS (Werksangabe) hatte z.B. die deutsche Ledermaske 1918 einen Filterwiderstand von 5,5 bis 7,5 mm WS (ohne Schnappdeckel-Filterblatt) und die russische Awaloffmaske 1918 einen Filterwiderstand von 6 bis 8 mm WS (R. Hanslian). Noch 1934 hielt W. Haase-Lampe Filterwiderstände bis zu 10 mm WS für tragbar.

Schon um 1900 stellte man in Österreich Industrieschutzmasken her. Auf die Erfahrungen mit den Kriegsmasken aufbauend, ent-

wickelte während und kurz nach dem ersten Weltkrieg die deutsche und nord-amerikanische Industrie zivile Atemschutzgeräte.

Die Notwendigkeit des Atemschutzes ergab sich aus der schnell anwachsenden Technisierung der Arbeitsplätze und aus neuen Fertigungsmethoden, die eine Gefährdung der Gesundheit des Arbeiters mit sich brachten. In diesem Zusammenhang führen Wittgens, von Hoff, Weichardt, Dräger, Ehrlicher und Worth eine Vielzahl von Berufen auf, bei denen heute zu-
mindest ein teilweises Arbeiten ohne Atemschutz nicht mehr denkbar ist.

Dies gilt besonders für die Farb- und Kunststoffindustrie (Herstellung betäubender Stoffe, Lösemittel und verwandter Produkte, Zweikomponentenkunststoffe, Schädlingsbekämpfungsmitteln, Arbeiten mit Karbolineum und Schwefelwasserstoff), im Bergbau und an bestimmten Arbeitsplätzen der Porzellan- und Emaillierungsindustrie (Silikosegefahr durch Staub), bei Spritzlackierern (Epoxydharz-Anstriche sind allergisierend, Bleivergiftung durch Bleimenninge, zinkchromhaltige Anstriche sind fakultativ kanzerögen), bei der Verschrottung von Schiffen und Eisenbrücken mittels Schweißbrennern (o. a. Anstriche werden durch die Schweißflamme verdampft); bei Tunnelarbeiten im Straßenbau (CO-Vergiftung durch Kfz-Abgase), beim Umgang mit Per- und Trichloräthylen, beim Reinigen von Schiffsluken, die mit gasenden Ladungen (Erdöl und seine Derivate) betankt waren. Ahlert fordert sogar für das Zuckerbäckergewerbe als Vorsorge gegen die Bäckerkaries, an besonders Zuckerstaub gefährdeten Arbeitsplätzen eine Staubmaske zu tragen. - Für Notfälle und zu Rettungszwecken liegen Atemschutzgeräte bei der Gasgewinnung, am Hochofen und vor allem im Bergbau immer bereit.

Eine gesetzliche Verankerung für die Verwendung von Atemschutzgeräten gegen schädliche Gase, Dämpfe und Stäube findet sich in den entsprechenden Berufsgenossenschaftlichen Vorschriften und der Verordnung des Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung vom 31.8.1966 (MAK-Verordnung) sowie in den Empfehlungen des Deutschen Ausschusses für Atemschutzgeräte.

In diesen Bestimmungen ist neben der Einteilung der Atemschutzgeräte in drei Schutzstufen (I gegen Grobstaub, II gegen toxische und radioaktive Feinstäube, III gegen Schwebstoff-, Dampf- und

Gasgemische) einschließlich der Bezeichnung der Filtereigenschaften durch bestimmte Farbmarkierungen der Filter, die Betriebshygiene genau festgelegt. Als Voraussetzung für die Verwendbarkeit von Filtergeräten darf am Arbeitsplatz die Konzentration giftiger Gase und Dämpfe nicht mehr als 2 Vol% der Luft, der Sauerstoffgehalt nicht weniger als 16 Vol% betragen. Dichte Apparatur, Absaugvorrichtungen und gute allgemeine Raumlüftung sind unerlässlich. Persönliche Sauberkeit und das Anlegen der Arbeitsschutzkleidung (Helm, Handschuhe, unter Umständen Asbest-Schürzen und -Schuhe, Atemschutzgeräte) sind zu überwachen.

Für das Tragen von Atemschutzgeräten werden jedoch hinsichtlich der damit verbundenen Atembelastung Einschränkungen gemacht. So lehnen Ehrlicher und Weichardt das Tragen von Filtergeräten für die Dauer einer Arbeitsschicht ab. Worth weist auf die jahrelange Verwendung von Druckluft-Atemschutzgeräten im Bergbau hin, da Staubmasken während dieser Schwerarbeit nicht getragen werden können. Ähnliche Verhältnisse sieht Wittgens bei Tunnelarbeiten. Aus diesem Grunde werden die Atemschutzgeräte als ein Notbehelf angesehen; sie können und sollen eine entsprechende Betriebshygiene nicht ersetzen.

Entsprechend den an dem jeweiligen Arbeitsplatz herrschenden Bedingungen, den Aufgaben der Feuerwehr und der Verwendung als ABC-Schutzmasken gibt es heute sowohl in der Maskenform (Kopfhäuben, Voll-, Halb- und Viertelmasken bis zu Mundstückgeräten) als auch in der Filterwirkung eine Vielzahl von Schutzmasken. Vor den Schutzmasken wurden bereits ab 1895 ("Pneumatophor" von Walcher-Uysdal und Gärtner) freitragbare Sauerstoff-Schutzgeräte vor allem im Bergbau als Arbeits- und

Rettungsgeräte verwendet. Diese sind gegenwärtig in vielen Abwandlungen als Rettungsgeräte, Tauchgeräte bis zu den Sauerstoffgeräten von Flugzeugbesatzungen im Handel.

Im Gegensatz zu den vielen technischen Erprobungen und Untersuchungen von Schutzmasken auf ihre Form und ihre Schutzwirkung, finden sich in der Literatur über ihre Auswirkungen auf Atmung, Kreislauf und Leistung nur wenige Untersuchungen.

Aufgrund der schnellen Ermüdung von Soldaten unter Gasmasken im ersten Weltkrieg wurde Ende 1918 in der französischen Armee mit Freiwilligen ein Arbeitsversuch durchgeführt. Dabei mußten bei körperlicher Arbeit während 48 Stunden 60 % und bei Ruhe und leichter Arbeit innerhalb von 36 Stunden 45 % der Soldaten wegen Atemnot die Gasmaske (Typ "Masque A. R. S.") abnehmen. Ähnliche Erfahrungen in der deutschen Armee führten 1916 zur Verwendung des "Leichtatmers" (Filter mit einem Atemwiderstand von 3 bis 6 mm WS), der jedoch einen geringeren Filterschutz als die vorher gebrauchten Dreischichtenfilter bot (R. Hanslian). Die letzten Leistungsversuche im Gelände, die bekannt wurden, führte die US-Armee 1959 durch. Laut persönlicher Mitteilung amerikanischer Militärbehörden ergaben vor allem Laufprüfungen und Tests über lange Tragezeiten der amerikanischen ABC-Schutzmaske (Typ E13 R9) keine wesentlichen Auswirkungen auf die Atmung. Spätere Untersuchungen unterliegen der Geheimhaltung.

Deutsche Versuche vor dem zweiten Weltkrieg (O. Bruns),

E. Smolcyk, H. Rumpf, W. Haase-Lampe, H. Engelhard) ergaben folgendes:

- Der Maskentotraum ist so gering wie möglich zu halten, da eine Anreicherung der Atemluft mit Kohlendioxyd durch das Ventilieren der Totraumluft das Atemzentrum des Maskenträgers anregt. Die dadurch entstehende Hyperventilation führt zum Abnehmen der Maske.

- Die Überwindung des Filterwiderstandes fordert zusätzliche Atemarbeit und wirkt somit leistungseinschränkend.
- Durch eine entsprechende Atemtechnik und Gewöhnung an die Gasmaske wird die Arbeitsleistung des Maskenträgers verbessert.
- Die Unverträglichkeit der Gasmaske ist weitgehend psychisch bedingt.

Bei Kriegsausbruch veröffentlichten Schneider und kurz darauf Matthes ihre Untersuchungen über die Auswirkung der Gasmaske auf die Atmung. Sie stützten sich dabei auf Arbeiten von Ludwig und Anthony. Als Ergebnis wurden übereinstimmend Schwankungen im Sauerstoffverbrauch und der Sauerstoffausnützung, bzw. eine Limitierung des Atemvolumens und der Gaswechselwerte unter Gasmaske festgestellt.

Jüngste Untersuchungen von Muhar und Lempert (1966), bei welchen durch Oesophagusdruckmessungen die Auswirkungen einer Feinstaubmaske auf Arbeiter mit nur geringen Aufbraucherscheinungen der Atemorgane geprüft wurden, zeigten eine deutliche Einschränkung der Atmung. Zur gleichen Zeit bestimmten hiervon unabhängig Millahn und Eckermann den Sauerstoffverbrauch der Atemmuskulatur bei Ventilationsstörungen, mit dem Ergebnis, daß besonders bei inspiratorischer Behinderung der Atmung der Sauerstoffverbrauch der Atemmuskulatur mit steigender Arbeit steil ansteigt.

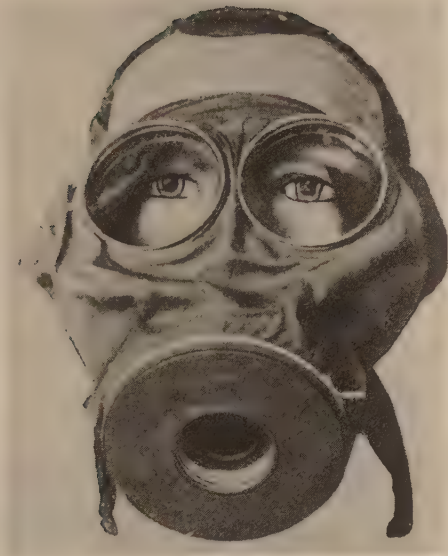


Abbildung Nr. 1/a und b.^{x)}

oben: deutsche Linienmaske,
1915 (ohne Filter)

unten: französischer Büchsen-
atmer (Tissot), 1916



x) Die Abbildung Nr. 1/a und b
sind aus: "Der chemische
Krieg" von R. Hanslian.

Abbildung Nr. 1/c x)

Englische P.H. -Haube, 1915



Abbildung Nr. 2

ABC-Schutzmaske Typ 65 mit
Filter FE 55, Innenansicht.
Ausrüstung der Bundeswehr
seit 1965/66.



x) Abbildung Nr. 1/c ist aus:
"Der chemische Krieg"
von R. Hanslian.

3. Untersuchungsgut, Geräte, Untersuchungsgang

a) Auswahl der Probanden

Für die Untersuchungen stellten sich 97 Soldaten der Bundeswehr freiwillig zur Verfügung. Im Mittel betrug ihr Alter 21,9 Jahre, ihre Größe 176 cm und ihr Gewicht 72,5 kg (die Einzelwerte sind im Anhang, Teil II/1 aufgeführt).

Alle Soldaten waren laut militärischem Untersuchungsblatt (= sog. Gesundheits-Blatt) zwei bis dreimal untersucht und als gesund beurteilt worden; ihr Allgemeinzustand und ihr Ernährungszustand waren gut. Subjektive Beschwerden wurden nicht angegeben. Eine kurze physikalische Untersuchung ergab keine pathologischen Befunde.

Die Versuchspersonen kamen aus Versorgungs (= Nachschub)-Einheiten und können in ihrem Trainingszustand als repräsentativ für gleichaltrige Männer unseres Landes angesehen werden.

b) Gerätebeschreibung

Für die Untersuchungen wurden an Ausrüstung und Geräten verwendet:

- ABC-Schutzmasken der Firma Dräger, Typ 65, Filter FE 55,
- Ganzkörperplethysmograph der Firma Siemens, Typ Siregnost FD 90, (Prototyp),
- Fahrradergometer der Firma Dargatz, Typ 499,
- Spirograph der Firma Dargatz, Typ 510,
- EKG- und Pulsfrequenzregistriergerät, kombiniert mit Einkanalschreiber, Firma Siemens, Typ Sirecust M1,

- Gerät zur Blutgasanalyse der Firma Eschweiler, Typ. Com-bianalysator,
- Ärztliches Instrumentarium, nachfolgend nicht beschrieben.

ABC-Schutzmaske

Die ABC-Schutzmaske besteht aus dem Maskenkörper mit Innenrahmen, den Augenfenstern, zwei Atemventilen und dem Filter. Der gummierte Maskenkörper wird in drei Größen hergestellt. Sein luftdichter und druckfreier Sitz ist durch vier verstellbare, elastische Bänder und einen weichen Maskenrändwulst sichergestellt. Im Maskenkörper befindet sich ein Innenrahmen aus gleichartigem, jedoch sehr weichem Material. Dieser liegt mit seinen Randpartien dem unteren Teil der Nase, den Wangen und von vorne dem Kinn leicht an. Das Ausatemventil ist innerhalb des Innenrahmens genau gegenüber der Mund- und Nasenöffnung angebracht, so daß insgesamt als schädlicher Totraum nur der von dem Innenrahmen umschlossene Raum praktisch von Bedeutung ist. Das Einatemventil sitzt am Boden des Maskenkörpers, außerhalb des Innenrahmens. Beim Inspirium streicht die Luft an den großen, dreieckigen Augenfenstern vorbei und verhindert deren Beschlagen, um dann in den Innenrahmen einzuströmen.

Der Filter wird mit einem Schraubengewinde vor das Einatemventil am Maskenboden angeschlossen. Sein Widerstand beträgt laut Werksangabe bei Ruheatmung etwa 5 bis 6 mm WS. Seine Wirkung beruht auf der Ad- und Absorption vor allem von sog. "chemischen Kampfstoffen" und von radioaktivem Staub mittels mehrerer Aktivkohle- und Speziialschichten. Vor Kohlenmonoxyd (CO) schützt dieser Filtertyp nicht. Die Resistenz des Filters ist zeitlich begrenzt und abhängig von der jeweiligen Giftgas-/Schwebstoffkonzentration. Vor jeder Untersuchung wurden fabrikneue Filter an die Probanden ausgegeben. Damit wurden gleiche Belastungszeiten je Filter von nicht mehr als 10 Minuten sichergestellt.

Zur Verbindung der ABC-Schutzmaske mit den Untersuchungsgeräten wurde ein Ansatzstutzen angefertigt. Er besteht aus zwei Rohren (je etwa: Länge 18 cm, Durchmesser 2,8 cm, Volumen 100 ml), die getrennt mit je einer Klemme am Ausatemventil bzw. an der Filtereintrittsöffnung befestigt werden. Ihre aboralen Enden münden in ein gemeinsames Rohr (Länge etwa 3 cm, Durchmesser etwa 2,8 cm, Volumen 20 ml), das an das jeweilige Untersuchungsgerät befestigt wird. Für den luftdichten Sitz der Rohröffnungen sorgten Gummidichtungen.

Funktionsstörungen der ABC-Schutzmaske durch den Ansatzstutzen konnten weitgehend ausgeschlossen werden. Hierzu wurden

folgende Überprüfungen vorgenommen:

- Erhöhung des Atemwegwiderstandes (=Resistance).

Die Resistancemessungen mit dem Gankörperplethysmographen unter ABC-Schutzmaske bei Verwendung eines leeren Filtergehäuses (Aktivkohle- und Spezialschichten waren entfernt) ergaben eine geringe Erhöhung des Atemwegwiderstandes von etwa 2,0 cm H₂O/1/sec. im Inspirium zu ca. 1,5 cm H₂O/1/sec. im Expirium. Hieraus kann gefolgert werden, daß der Luftstrom unter diesen Versuchsbedingungen (= in Ruhe) bei dem Passieren der Atemventile und innerhalb der Maske einer geringen Behinderung (=Reibung) unterliegt. Der Ansatzstutzen selbst dürfte dabei kaum als Hindernis ins Gewicht fallen.

- Vergrößerung des Totraumes.

Durch Verwendung zweier getrennter Wege (=Rohre) für die Ein- und Ausatmung, darf lediglich das gemeinsame Rohrendstück als zusätzlicher Totraum betrachtet werden. Hierbei wird davon ausgegangen, daß beim Inspirium aus dem "Ausatemrohr" keine Luft angesaugt werden kann. Folgende Volumina wurden mit Leitungswasser ausgemessen und betragen etwa:

- für das gemeinsame Rohrendstück	20 ml
- je Rohr	100 ml
- für den Filter	350 ml
- zwischen Gesicht und Maskenkörper	300 ml
- zwischen Gesicht und Innenrahmen	75 ml

Ganzkörperplethysmograph

Der Ganzkörperplethysmograph der Firma Siemens, Typ Siregnost FD 90, besteht aus einer druckstabilen, mit zwei großen Fenstern versehenen Kabine sowie einem Meßgeräteschrank. Er dient zur Bestimmung des bronchialen Atemwegwiderstandes und des intrathorakalen Gasvolumens im Hinblick auf das funktionelle Residualvolumen.

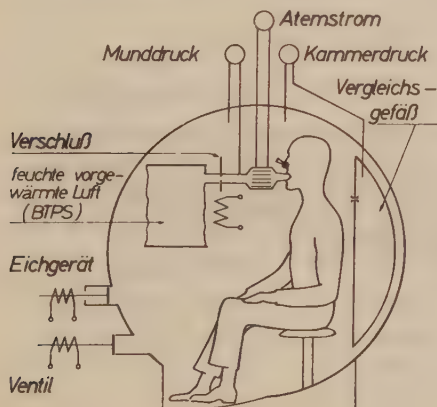


Abbildung Nr. 3

Skizze^{x)} der Kabine des Ganzkörperplethysmographen.

Erläuterungen s. Text.

x) nach: H. Valentin,
D. Szadkowski und
H. - J. Weitowitz

Die luftdicht magnetverschlossene Plethysmographenkammer hat ein Volumen von etwa 900 l und ist wegen ihrer Kesselkonstruktion gegen äußere Druckwellen nahezu unempfindlich (z.B. Windböen, Schlägen von Türen). - Ein eingebautes Druckvergleichsgefäß führt innerhalb weniger Minuten nach Einschluß des Probanden in die Kammer zu Ausgangsdruckbedingungen, die einen Meßvorgang gestatten, da zunächst die menschliche Körperwärme einen Druckanstieg in der Kabine zur Folge hat. Dieses Gefäß gleicht jedoch nicht die schnellen Druckschwankungen aus, die durch die Ausdehnung und Verkleinerung des Thorax bei jeder Atemexkursion bewirkt werden und die der Aufzeichnung der Kammerdruck-Strömungsdiagramme und der Verschußdruckkurven zugrunde liegen.

Der Atemstromrezeptor ist ein zwischen Mundstück und Atem-einheit geschalteter Pneumotachograph nach Fleisch, mit einem Eigenwiderstand von 0,3 cm H₂O/l/sec. Kammer- und Mund- bzw. Alveolardruck werden mit getrennten Pneumomanometern registriert. - Wasserdampfspannung und Temperatur der Atemluft ist mit der Atemeinheit regulierbar. Bei den Untersuchungen wurde mit durchschnittlich 98 % Wasserdampfsättigung und 38°C der Atemluft entsprechend den BTPS-Bedingungen gearbeitet.

Mit einer X-Y-Registriereinheit werden zwei Arten von Kurven aufgenommen:

- Kammerdruck-Strömungsdiagramme, d.h. das Verhältnis von: Kammerdruck-Änderung zu Atemstromänderung während eines Atemzyklus

$$= \frac{\Delta P_K}{\Delta \dot{V}}; \dot{V} = \frac{V}{t},$$

- endin- und endexpiratorische Verschußdruckkurven, d.h. das Verhältnis von:

Munddruck- (=Alveolardruck-) Änderung zu Kammerdruckänderung

$$= \frac{\Delta P_{alv}}{\Delta P_K}.$$

Definition:

R_t = totaler Atemwegswiderstand = Strömungswiderstand über den gesamten Druckbereich eines Atemzuges. Aufgrund der geringen Bauchigkeit und des steten Anstieges der Druckströmungsdiagramme ohne ABC-Schutzmaske gilt für die Auswertung der Kurven:

$$R_t = R_{ti} = R_{te}.$$

R_{ti} = Atemwegswiderstand über den gesamten Druckbereich des Inspiriums

R_{te} = Atemwegswiderstand über den gesamten Druckbereich des Expiriums

R_{tiM} = inspiratorische Resistance unter ABC-Schutzmaske

R_{teM} = expiratorische Resistance unter ABC-Schutzmaske

Skaleneichung des Kurvenblattes:

ΔV_K = Änderung des Kammervolumens = Änderung des Kammerdruckes P_K (auf der x-Achse) 1 cm des Kurvenblattes entspricht 10 ml Volumenänderung = 0,12 mm H_2O Druckänderung.

$\Delta \dot{V}$ = Atemstromänderung (auf der Y-Achse) 1 cm des Kurvenblattes entspricht 0,2 l/sec.

ΔP_{alv} = Munddruck (=Alveolardruck) -Änderung (auf der x-Achse der Verschlussdruckkurven) 1 cm des Kurvenblattes entspricht 2 cm H_2O .

R_t : 0,8 cm H_2O /l/sec

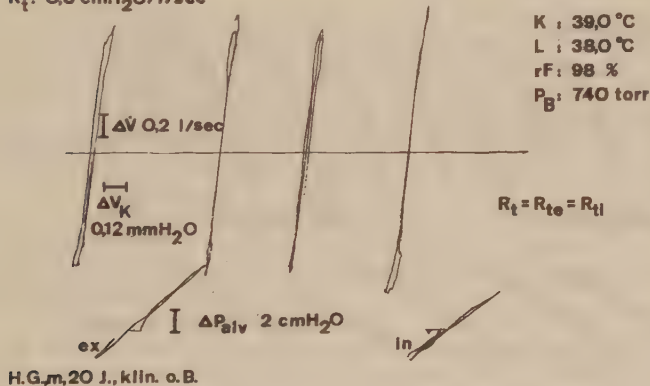


Abbildung Nr. 4

Ganzkörperplethysmographische Kurven eines gesunden jungen Mannes, ohne ABC-Schutzmaske.

Obere Reihe: Druckströmungsdiagramme

Untere Reihe: ex = endexpiratorische Verschlussdruckkurven

in = endinspiratorische Verschlussdruckkurven.

Bei der Auswertung der Einzelkurven je Proband (siehe Abbildung Nr. 5/a bis c) wurde wie folgt verfahren:

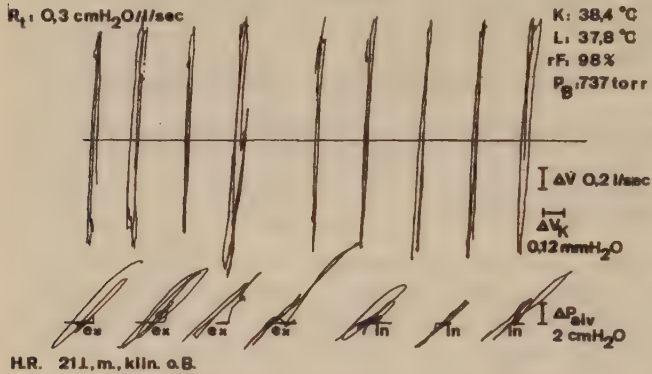


Abbildung Nr. 5/a

Ganzkörperplethysmographische Kurven eines gesunden jungen Probanden ohne ABC-Schutzmaske.

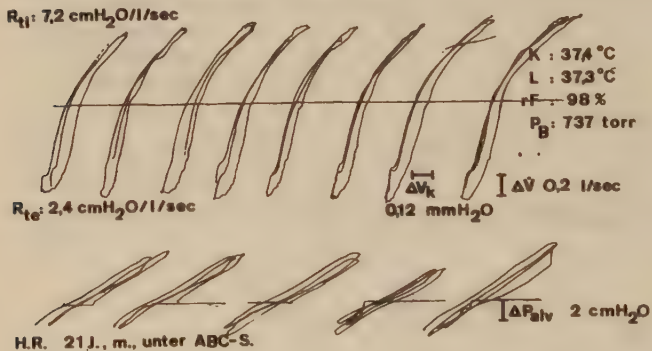


Abbildung Nr. 5/b

Ganzkörperplethysmographische Kurven des gleich. Probanden mit ABC-Schutzmaske.

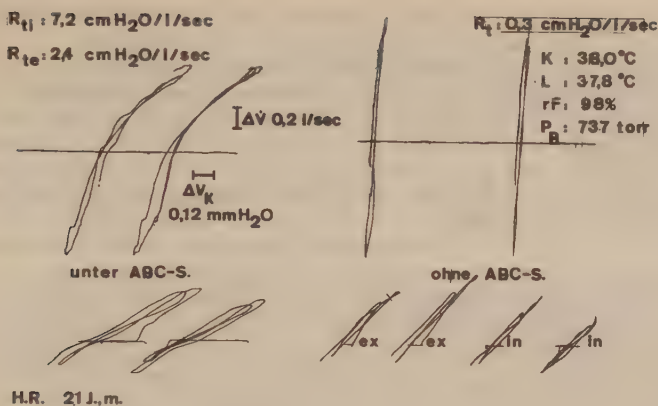


Abbildung Nr. 5/c

Gegenüberstellung der ganzkörperplethysmographischen Kurven der Abbildung Nr. 5/a und b; links mit, rechts ohne ABC-Schutzmaske. Die Abflachung des inspiratorischen Kurvenanteiles (oberhalb der X-Achse) zeigt deutlich die Erhöhung des Atemwiderstandes unter ABC-Schutzmaske.

Die Berechnung der totalen Resistance ohne ABC-Schutzmaske einer jeden Einzelkurve sowie die Mittelwertbildung der Einzelkurven je Proband wurde durch einen Computer aus der Rechenanlage des Siemens-Forschungszentrums, Erlangen, durchgeführt.^{x)}

Die eigene Kontrollrechnung erbrachte die selben Ergebnisse. Kurvenblatt ohne ABC-Schutzmaske:

- Bildung des arithmetischen Mittels der Winkel, die von der X-Achse (Null-Linie) und der Geraden gebildet werden, die durch die oberen und unteren Umkehrpunkte der Druckströmungsdiagramme ziehen.
- Bildung des arithmetischen Mittels der Winkel, die von der X-Achse und den Geraden gebildet werden, die dem Anstieg der endex- und endinspiratorischen Verschlussdruckkurven entsprechen.
- Bildung des arithmetischen Mittels des Abstandes zwischen den Kammerdruckwerten bei Strömungs-Null.

x)

Für die mir dadurch zuteil gewordene Hilfestellung bin ich Herrn Dipl.-Ing. Haas vom Siemens Forschungszentrum Erlangen zu Dank verpflichtet.

Da von der Registriereinheit das Verhältnis von Kammerdruckänderung (ΔP_K) zu Atemstromänderung ($\Delta \dot{V}$) und Alveolardruckänderung (ΔP_{alv}) zu Kammerdruckänderung (ΔP_K) aufgezeichnet wird, kann die totale Resistance über dem gesamten Druckbereich eines Atemzyklus geometrisch über o. a. Winkel errechnet werden:

$$R_t = \frac{\Delta P_K}{\Delta \dot{V}} \cdot \frac{\Delta P_{alv}}{\Delta P_K} = \frac{\Delta P_{alv}}{\Delta \dot{V}} \text{ cm H}_2\text{O/l/sec.}$$

Vom Ergebnis ist jeweils der durch den Kopf des Pneumotachographen bedingte Widerstand von 0,3 cm H₂O/l/sec. abzuziehen. Die endin- endexpiratorische alveoläre Druckdifferenz der Resistancekurven bei Strömungs-Null (ΔP_{AO}) wurde ebenfalls nach der Alveolardruck-Kammerdruck-Eichbeziehung umgerechnet und als Alveolardruckdifferenz in cm H₂O angegeben,

Kurvenblatt mit ABC-Schutzmaske:

Das Auswerteverfahren ist das gleiche wie bei den Kurven ohne ABC-Schutzmaske. Es wurde jedoch zwischen der inspiratorischen Resistance (R_{tiM}) und der expiratorischen Resistance (R_{teM}) unterschieden. Hierzu wurden die arithmetischen Mittel der Winkel der Geraden, die den Anstieg der inspiratorischen bzw. expiratorischen Hälften der Druckströmungsdiagramme angeben, wie folgt gebildet:

- Expiratorischer Anteil des Druckströmungsdiagrammes: Winkel zwischen X-Achse und der Geraden, die durch den unteren Umkehrpunkt des Diagrammes und den Schnittpunkt des Überganges von Inspirium zu Expirium mit der X-Achse zieht.
- Inspiratorischer Anteil des Druckströmungsdiagrammes: Winkel zwischen X-Achse und der Geraden, die durch den oberen Umkehrpunkt des Diagrammes und den Schnittpunkt des Überganges von Expirium zu Inspirium mit der X-Achse zieht.

Zur weiteren Berechnung wurde vom arithmetischen Mittel der Winkel der Verschlussdruckkurven bei Normalatmung der gesamte Totraum (ABC-Schutzmaske plus Filter plus Anschlußstück = 750 ml bis 950 ml) in Winkelgraden abgezogen. Die Ermittlung dieses Totraums und dem jeweiligen Probanden entsprechenden Winkels erfolgte zusammen mit einer die eigenen Berechnungen ergänzenden Bestimmung der Resistancewerte unter ABC-Schutzmaske durch den oben erwähnten Computer der Rechenanlage des Siemens-Forschungszentrums in Erlangen. - Die Berechnung des jeweiligen Druckgradienten bei Strömungs-Null wurde ebenfalls auf die so korrigierte mittlere Verschlussdruckkurve bei Maskenatmung bezogen. Wegen des aufgezeichneten Ventileffektes und der damit verbundenen Ungenauigkeit bei der Kurvenausmessung, kann das Ergebnis nicht verwertet werden.

Fahrradergometer

Das Universalergometer der Firma Dargatz, Typ 499, kann für Tretkurbelarbeit im Liegen und Sitzen und für Drehkurbelarbeit im Stehen aufgebaut werden. Bei den Belastungsuntersuchungen wurde es als Fahrradergometer mit konstanter Trekkurbellänge, aber individuell angepaßter Sitzhöhe, eingesetzt. Die Standardisierungsvorschläge von Mellewicz, Rein-dell, Hollmann, Mies und Roskamm wurden beider Arbeitsbelastung weitgehend berücksichtigt.

Der Lastmeßregler enthält eine Meßskala sowie eine elektrische Schaltuhr, die über einen Hilfsmotor das Ergometer auf die Ausgangsdrehzahl von 40/Min. bei einer bestimmten Arbeit (zwischen 0 bis 400 Watt) einstellen läßt. Der Proband hat unter Einhaltung der Ausgangsdrehzahl den vorgegebenen Widerstand des Wirbelstromergometers zu überwinden.

Spirograph (Magna-Test)

Der "Magna-Test" der Firma Dargatz, Typ 510, dient zu respiratorischen Untersuchungen in Ruhe bis zur Arbeitsbelastung im Vita-maxima-Bereich.

Das Gerät ist nach Anschluß des Probanden ein geschlossenes System mit einer Luftumwälzung von 400 l/Min. Das ventilierte Gasgemisch entspricht in seiner Zusammensetzung der Luft. Es kann jedoch beliebig hinsichtlich der Sauerstoffkonzentration eingestellt werden. Durch CO₂-Absorber, O₂-Regler, Thermostat, H₂O-Befeuchtungs- und Kühlsysteme wird das eingestellte Gasgemisch einschließlich der Wasserdampfsättigung durch das Atmen des Probanden nicht verändert. (Bei den nachfolgend beschriebenen Untersuchungen war eine Gerätebetriebstemperatur von 22°C und eine Wasserdampfsättigung von 100 % vorgegeben. Der Barometerstand betrug im Untersuchungszeitraum 737±4 torr. Alle aufgeführten Meßgrößen stellen Rohwerte dar; sie sind nicht auf BTPS/STPD-Bedingungen umgerechnet). Die spiographischen Größen werden über Spirometerglocken mit einem 8-Gang-Schreiber registriert.

EKG-/Pulsfrequenz-Registriergerät

Dieses Gerät der Firma Siemens, Typ Sirecust M1, ist eine Kombination von Kardioskop und Pulsfrequenzmesser. Die von dem Probanden abgenommene transthorakale Brustwandableitung mit der differentiellen Elektrode über der Herzspitze wird durch einen Oszillographen sichtbar gemacht. Eine Skala zeigt die Pulsfrequenzen an, ein Lautsprecher und eine Blinkanlage den Pulsrhythmus.

Gerät zur Blutgasanalyse

Das Gerät zur Blutgasanalyse der Firma Eschweiler, Typ Combi-Analysator, dient der Bestimmung des Sauerstoffdruckes (pO_2), des Kohlensäuredruckes (pCO_2) und des pH-Wertes in wässrigen Lösungen. Sein Meßteil hat neben einer zweiskaligen Anzeige und einer Eichvorrichtung Adapterkanäle, welche die verschiedenen Meßelektroden an die Anzeigenskala angleichen. Somit können die jeweiligen Blutgaspartialdrucke in Torr direkt abgelesen werden.

Sein Thermostateinteil besteht aus einem in seiner Temperatur regulierbaren Wasserbad und zwei Analysengefäßen. Das Doppelanalysengefäß enthält eine Platinelektrode (zur Bestimmung von pO_2) und eine kunststoffüberzogene Glaselektrode (zur Bestimmung von pCO_2). Das Einfachanalysengefäß enthält eine Glaselektrode (zur Bestimmung des pH-Wertes).

Das Gerät ist vor Meßbeginn mit eichgasäquilibriertem Blut zu eichen. Weiterhin ist bei der Eichung der Anzeigenskala der Luftdruck am Untersuchungsort zu berücksichtigen. Die Gerinnung des zu untersuchenden arteriellen Blutes (etwa 0,06 ml) wird durch heparinisierte Glaskapillaren verhindert. (Blutentnahme aus dem Ohr nach Hyperämisierung mit Finalgon).

4. Statistik - Auswertung der Meßergebnisse

a) Allgemeines

Zur Berechnung der Meßergebnisse wurde nach J. I. Bradley, J. N. McClelland, Geigy, Haseloff-Hoffmann, S. Koller und Th. Reich verfahren. Diese Arbeiten zeigen eine Fülle von Möglichkeiten, vor allem aber viele sich unterscheidende Methoden nebst Formeln bezüglich der Auswertung der Stichproben dieser Arbeit. - Eine einheitliche Verwendung von mathematischen Symbolen und deren Bezeichnung konnte nicht festgestellt werden.

Im nachfolgenden Abschnitt werden ausschließlich die hier angewandten Auswertungsmethoden sowie die formelmäßige Berech-

nung der Signifikanz der verglichenen Stichproben abgehandelt. -
Die in dieser Arbeit auftretenden Begriffe und deren Symbole
sind im Anhang, Teil I, beschrieben.

Obwohl die Untersuchungen meist an den gleichen Probanden
ohne und mit ABC-Schutzmaske durchgeführt wurden, ergaben
sich trotzdem in der Gegenüberstellung der zu vergleichenden
Stichproben geringe Differenzen in der Anzahl der Probanden
($n_1 \neq n_2$). Der Grund hierfür liegt in der nicht vollständigen
Teilnahme mancher Probanden an den Versuchen (Grund: dienst-
liche Verhinderung einiger Soldaten, selten mangelnder Wille)
und an Fehlern in der Versuchsanordnung, die während der Be-
lastungsuntersuchung auftraten (z.B.: der Proband unter ABC-
Schutzmaske bekam "Außenluft"). Eine Wiederholung des Ver-
suchs wurde wegen der Ermüdung und der damit verbundenen
Verfälschung von Ergebnissen einer dritten Belastungsuntersu-
chung am gleichen Tage unterlassen.

Weiterhin ergeben die Mittelwerte von Stichproben nicht exakt
ein von ihnen abhängiges Produkt, da dieses ebenfalls einen
Stichprobenmittelwert darstellt. Beispiel:

$$AF_{AMV} \cdot AV_{AMV} \neq AMV$$

Die Ursache liegt in der Klassenbildung der Stichproben:

$$AF, AV \text{ und } AMV.$$

Die Ungenauigkeit des Produktes wird durch die Streuung in jeder
einzelnen Stichprobe aufgehoben.

Betrag $p < 0,025$, so wurde die Signifikanz der verglichenen Stichproben im t-Test und im Chi-Quadrat-Test unabhängig voneinander überprüft; die Ergebnisse waren stets gleich. Im Text werden auf- bzw. abgerundete Größen diskutiert (0,5 = 1,0). Ihre genauen Werte finden sich im Anhang, Teil II.

b) Angewandte statistische Tests

Nach folgenden Anleitungen wurden die Einzelergebnisse ausgewertet:

- Berechnung von Mittel und Streuung: Th. Reich, Seite 40 bis 42, 46 bis 47.
- F-Test: Geigy-Tabellen, Seite 170.3, Nr. 605.
- t-Test: Geigy-Tabellen, Seite 170.3, Nr. 606 bis 607.
- Chi-Quadrat-Test: Th. Reich, Seite 64 bis 67.
- Leistungsdauer-Diagramme, Berechnung und Konstruktion der Regressionsgeraden: Th. Reich, Seite 98 bis 101.
- Paardifferenzen der ganzkörperplethysmographischen Werte: Geigy-Tabellen, Seite 170.3/4, ergänzt durch eine briefliche Anleitung von Th. Reich.
- Gegenüberstellung der Einzelergebnisse bei Dauerbelastung (Korrelationsdiagramme): Persönlich-mündliche Anleitung von S. Koller.

Als Nachschlagetabellen für die Ermittlung des Betrages von "p" dienten die Geigy-Tabellen, Seite 32 bis 41.

Kurzbeschreibung der Test-Formeln

Mittelwert - Streuung

Um die Möglichkeiten einer diskreten und einer normalen Verteilung der Stichproben einzuschließen, wurde deren Mittel und Streuung wie folgt berechnet:

Beispiel: Alter der Probanden. Einzelwerte s. Anhang, Teil II.

$$m = \frac{\text{Summe der Probandenalter}}{\text{Anzahl der Probanden}} = \frac{1962}{90} = 21,8 \text{ Jahre}$$

$$s^2 = \frac{\text{Summe}(m - \text{Alter jed. Probanden})^2}{n - 1} = \frac{280,88}{89} ;$$

$$s = 1,58 \text{ Jahre}$$

Unter Verwendung des Rechenschemas von Th. Reich und einem Klassenintervall von einem Jahr, ergibt sich für:

$$m = 21,9 \text{ Jahre} \quad \text{und} \quad s = 1,58 \text{ Jahre}$$

Der Vergleich beider Rechenarten zeigt eine Differenz von nur einem Monat im Mittel.

F-Test

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}, \quad \text{wobei } s_1^2 > s_2^2.$$

Die Freiheitsgrade (n) jeder Stichprobe betragen hierbei:

$$n = n_1 - 1 \quad \text{bzw.} \quad n = n_2 - 1.$$

Der Betrag "p" von F wird in der F-Tabelle abgelesen.

Im sich anschließenden t-Test sind verschiedene Formeln zum Vergleich der Mittelwerte anzuwenden, je nachdem ob

$$s_1^2 = s_2^2 \quad \text{oder} \quad s_1^2 \neq s_2^2 \quad \text{ist.}$$

t-Test

$$\text{wenn } s_1^2 = s_2^2 \text{ gilt:}$$

$$t = \frac{m_1 - m_2}{s};$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \cdot \sqrt{\frac{s_1^2 (n_1 - 1) + s_2^2 (n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$n = n_1 + n_2 - 2$$

wenn $s_1^2 \neq s_2^2$ gilt:

$$t = \frac{m_1 - m_2}{s}$$

$$s = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{k^2}{n_1} + \frac{(1-k)^2}{n_2}} ; k = \frac{n_2 s_1^2}{n_2 s_1^2 + n_1 s_2^2}$$

Der Betrag "p" von t wird in der t-Tabelle abgelesen.

Chi-Quadrat-Test (Mehrfeldertafel)

Die zu vergleichenden Stichproben werden in ein Schema eingeordnet. Eine Anwendung von Formeln entfällt. Chi-Quadrat und die Anzahl der Freiheitsgrade sind aus dem Schema ersichtlich. Der Betrag "p" von Chi-Quadrat steht in der Tabelle.

Paardifferenzen:

Werden mit denselben Probanden zwei zu vergleichende Versuche durchgeführt, so sind die Differenzen beider Versuchsergebnisse je Proband zu bilden (= Paardifferenzen) und in folgende Formel einzusetzen:

$$t = \frac{m_d \cdot \sqrt{n}}{s} ; s = \sqrt{\frac{\text{Summe } (m_d - x)^2}{n - 1}} ; m_d = \frac{\text{Summe d. Paard.}}{n}$$

n = Anzahl der Paardifferenzen (= Probanden)

x = Einzelpaardifferenz

Mit diesem Test "wird die Macht einer Prüfung bedeutend vergrößert" (Geigy).

Paardifferenzen, die in Korrelationsdiagrammen gegenübergestellt werden, lassen Rückschlüsse auf den Einzelnen sowie auf Gruppen innerhalb der Stichprobe zu.^{x)}

x) Für die persönliche Anleitung zu dieser Auswertung bin ich Herrn Professor Dr. med. Koller zu großem Dank verpflichtet.

5. Untersuchungsanordnung und Untersuchungsgang

a) Allgemeine Bedingungen

Nachfolgend werden die Methoden sowie die einzelnen Stationen im Ablauf der Untersuchungen geschildert. Dabei wird in Untersuchungen in Ruhe, bei ansteigender Belastung und bei hoher Dauerbelastung unterschieden.

Pro Tag wurden im Institut für Arbeits- und Sozial-Medizin der Universität Erlangen-Nürnberg im Mittel 12 Probanden getestet. Jeder Proband wurde pro Tag nicht mehr als einer Belastungsart (entweder ansteigende Belastung oder Dauerbelastung) unterzogen, jedoch innerhalb dieser sowohl ohne als auch mit ABC-Schutzmaske in zwei zeitlich getrennten Abständen untersucht.

Bei den Belastungen wurde darauf geachtet, daß evtl. während des Tages auftretende Leistungsschwankungen oder Trainingseffekte durch einen täglich alternierenden Beginn der Untersuchungsreihe "ohne ABC-Schutzmaske" mit jener "mit ABC-Schutzmaske" bei der Gesamtbewertung nicht ins Gewicht fallen können. Um sich mit den Untersuchungsbedingungen vertraut zu machen, wurden alle Probanden zuvor in die Untersuchungsanordnung eingewiesen. Außerdem beobachtete jeder Proband seinen Vorgänger während der Untersuchung.

Die Probanden waren für die Untersuchungen mit Sportanzug bekleidet, der Oberkörper war frei.

Alle Probanden waren an der ABC-Schutzmaske ausgebildet.

Die Anzahl der Probanden, die insgesamt an den einzelnen Untersuchungsängen teilnahmen sowie Auswertung und Ergebnisse sind aus Kapitel 6 und aus den Übersichtstafeln des Anhanges, Teil III, zu ersehen.

b) Untersuchungen in Ruhe

Ganzkörperplethysmographie

Nach dem luftdichten Verschluß der Kabinentüre des Ganzkörperplethysmographen gewöhnte sich der Proband etwa zwei Minuten an die Kammer. Seine ABC-Schutzmaske hatte er bei sich. Während dieser Zeit stellte sich bei geöffneten Kammerventilen der erforderliche Druckausgleich in der Kabine ein. Die Untersuchung begann stets ohne ABC-Schutzmaske. Ein beachtenswerter Gewöhnungs- oder Trainingseffekt bei der ganzkörperplethysmographischen Bestimmung der Atemwegswiderstände konnte in entsprechenden Vorversuchen nicht aufgedeckt werden. Der Atemrhythmus wurde zur Standardisierung mit einem Metronom vorgegeben (Frequenz: 60/Min. = 30 Atemzüge/Min.). Der Untersuchende legte über Mikrofon dem Probanden eine mittlere Atemtiefe nahe. - Zunächst erfolgte die Registrierung mehrerer Kammerdruck-Strömungsdiagramme, daran anschließend - bei Verschluß der zuführenden Atemwege - die Aufzeichnung der zugehörigen Eich-, d.h. Verschlußdruckkurven.

Der Untersuchungsvorgang wiederholte sich hierauf unter ABC-

Schutzmaske. Dazu setzte der Proband die vor Untersuchungsbeginn angepaßte und auf ihren luftdichten und druckfreien Sitz überprüfte ABC-Schutzmaske auf und schloß diese mittels des Verbindungsstückes an den Pneumotachographen an. - Je Proband wurden zwischen 10 und 20 Druckströmungsdiagramme sowie 2 bis 3 endex- und 2 bis 3 endinspiratorische Verschußdruckkurven ohne ABC-Schutzmaske, die gleiche Anzahl von Kurven unter ABC-Schutzmaske ausgewertet. Bei den insgesamt 104 untersuchten Probanden (97 Soldaten und 7 männliche Institutsangehörige) konnten etwa 3.100 Druckströmungsdiagramme und 800 Verschußdruckkurven gewonnen werden. Die Verweildauer je Proband in der Kabine des Ganzkörperplethysmographen betrug etwa 8 Minuten.

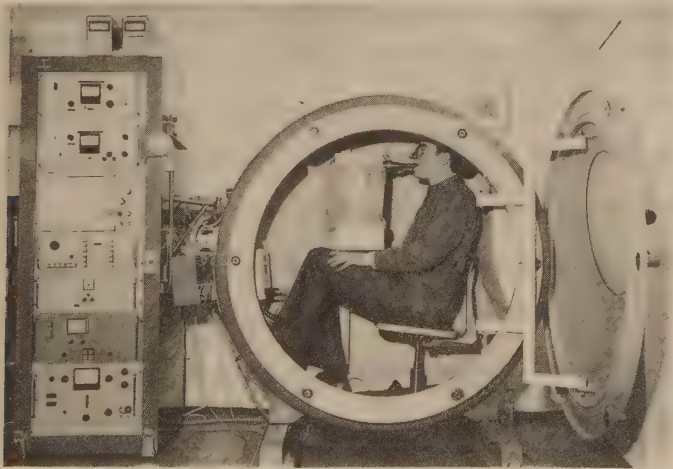


Abbildung Nr. 6

Proband in der geöffneten Kabine des Ganzkörperplethysmographen, ohne ABC-Schutzmaske.
Links im Bild befindet sich der Meßgeräteschrank.

Gewinnung von arterialisiertem Kapillarblut, Blutdruckmessung.

Vor jeder Belastungsuntersuchung ruhte der Proband in einem gesonderten Untersuchungszimmer auf einer Liege. Nach der Messung des Blutdruckes wurden 0,3 ml arterialisiertes Kapillarblut aus einem mit Finalgon-S. hyperämisierten Ohrläppchen (Einwirkungsdauer des Finalgon-S. etwa 15 Minuten) entnommen.

Das arterialisierte Kapillarblut wurde blutgasanalytisch mit der Mikromethode nach Eschweiler (s. Ziffer 3) zur Bestimmung der Ruhewerte für pO_2 , pCO_2 und des pH-Wertes untersucht. Diese oben angeführten Ruhewerte wurden nur ohne ABC-Schutzmaske ermittelt.

Pulsfrequenzmessung, Spirographie

Die Pulsfrequenzmessung vor und während der gesamten Dauer der Belastungsuntersuchungen wurde durch drei transthorakale Brustwand-Ableitungen des EKG vorgenommen.

Sitz der Elektroden:

- im 5. ICR, li. über der Herzspitze;
- im 5. ICR, re. eine Fingerbreite lateral der Medioclavicularlinie;
- im 7. ICR, li. in der Scapularlinie.

Während der Untersuchung stand der Untersuchende seitlich vor dem Probanden. Er konnte dabei den Probanden, die aufgezeichneten spirographischen Kurven und die vom Oszillographen wiedergegebenen Herzaktionen beobachten. Die Pulsfrequenzwerte

wurden im Abstand von 30 Sekunden in eine Tabelle eingetragen. Folgende Ruhewerte wurden bei obiger Untersuchungsanordnung ermittelt:

- Pulsfrequenz
- AZQ = Atemzeitquotient = zeitliches Verhältnis von Inspirium zu Expirium, wobei die Zeit des Inspiriums gleich 1 gesetzt wird.
- VK = Vitalkapazität = maximales Atemvolumen, gemessen zwischen maximalem Inspirium und maximalem Expirium.
- AGW = Atemgrenzwert = Atemminutenvolumen einer Minute bei schneller und tiefer Hyperventilation in Ruhe.
- AF_{AGW} = Atemfrequenz während der AGW-Bestimmung pro Minute.
- AV_{AGW} = mittleres Atemvolumen der Atemexkursionen während der AGW-Bestimmung.

c) Messungen bei ansteigender Belastung

Im Anschluß an die Untersuchungen in Ruhe wurde unter Beibehaltung der vorher beschriebenen Untersuchungsanordnung der Proband ansteigend mit einer Tretkurbelarbeit, begonnen bei 90 Watt, gesteigert um je 30 Watt pro Minute, belastet.

Der Test wurde abgebrochen,

- wenn eine Arbeit von 240 Watt erreicht war, oder
- wenn die Pulsfrequenz des Probanden 200/Min. überschritt,
- wenn der Proband die vorgeschriebene Drehzahl und damit die geforderte Arbeit nicht mehr einhalten konnte.

Während der Untersuchungen wurden folgende Messungen vorgenommen:

- AMV = Atemminutenvolumen = die vom Probanden in einer Minute ventilierte Luft. Die Auswertung erfolgte im Bereich zwischen 180 Watt und 210 Watt.
- AV_{AMV} = mittleres Atemvolumen der Atemexkursionen während der Bestimmung des AMV.
- AF_{AMV} = Atemfrequenz während der Bestimmung des AMV = Anzahl der Atemexkursionen des AMV pro Minute der ausgewerteten Belastungsstufe.
- MO_2A = maximale Sauerstoffmenge, die der Proband in der letzten Minute der Arbeitsbelastung aufnimmt. Pulsfrequenz, Aufzeichnung je 30 Sekunden.

Sofort nach Abbruch der Untersuchung lief der Proband in ein neben dem Versuchsraum gelegenes Untersuchungszimmer, wo ihm in der oben beschriebenen Weise (s. Ziffer 5/b) arterialisierendes Blut zur Blutgasanalyse abgenommen wurde. Die Messung des Blutdruckes erfolgte gleichzeitig. Der Zeitbedarf vom Arbeitsstillstand bis zur Blutentnahme bzw. Blutdruckmessung betrug bis 15 Sekunden.

Folgende Werte wurden somit kurz nach Versuchsabbruch gewonnen:

- Blutdruck,
- arterieller pO_2 , pCO_2 und pH-Wert.

Nach einer Erholungsphase von etwa drei Stunden, in welcher der Proband etwas gegessen und getrunken hatte, wurde die Untersuchung unter ABC-Schutzmaske wiederholt. Ihr richtiger, d. h. luftdichter und bequemer Sitz wurde vor Versuchsbeginn überprüft. Der Anschluß der ABC-Schutzmaske an das System des Spirographen geschah über das beschriebene Verbindungsstück (s. Ziffer 3/b). Die Messungen während und nach dieser Belastung waren die gleichen wie jene ohne ABC-Schutzmaske. Bei Abbruch der Untersuchung mußte die ABC-Schutzmaske sofort abgenommen werden, so daß die sich anschließende Blutdruckmessung und Blutentnahme nicht mehr unter ABC-Schutzmaske vorgenommen werden konnte.

d) Messungen bei hoher Dauerbelastung von 210 Watt

Bei dieser Belastungsart waren die Untersuchungsanordnung, die Bedingungen zum Abbruch der Untersuchung und die Messungen die gleichen, wie jene bei ansteigender Belastung. Der Proband begann jedoch mit einer Ausgangsarbeit von 210 Watt zu arbeiten. Eine Steigerung auf 240 Watt wurde erst ab der siebten Arbeitsminute gefordert. Außerdem wurde das Atemminutenvolumen, die Atemfrequenz und das mittlere Atemvolumen in der letzten Arbeitsminute ausgewertet.

Für den sich nach etwa drei Stunden anschließenden Test unter ABC-Schutzmaske gilt Ziffer 5/c., letzter Absatz, sinngemäß. Auf den täglichen Wechsel der Arbeitsbelastung ohne ABC-

Schutzmaske - mit ABC-Schutzmaske wird nochmals hingewiesen (s. Ziffer 5/a.).

Diese hohe fahrradergometrische Belastung wurde gewählt, um den Anforderungen, die an eine ABC-Schutzmaske zu stellen sind, zu entsprechen. Die ABC-Schutzmaske ist eine Notfallmaske. Große körperliche Anstrengungen bei gleichzeitig starker psychischer Belastung, wie z. B. Rettungs- und Bergungsarbeiten in vergifteten und unter Beschuß stehenden Ortschaften, werden zeitweise mit ihrem Tragen verbunden sein.

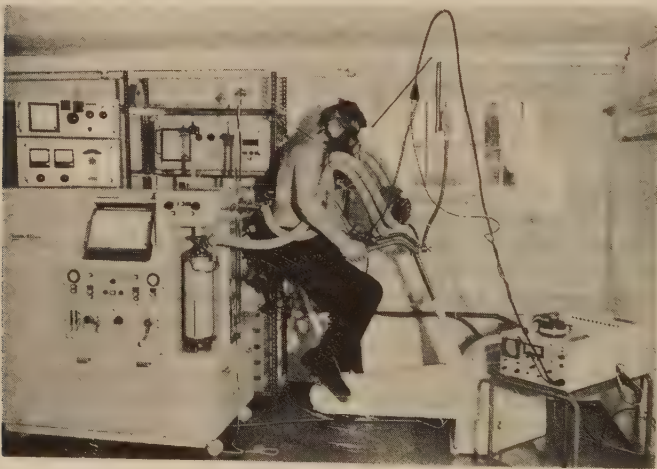


Abbildung Nr. 7

Proband während der Arbeitsbelastung unter ABC-Schutzmaske.

6. Ergebnisse

a) Ruhewerte

Ganzkörperplethysmographie

Die Berechnung von Mittel und Streuung der Resistance bei Atmung ohne und mit ABC-Schutzmaske zeigt folgende Ergebnisse:

- Resistance ohne ABC-Schutzmaske

$$m-R_t = R_{te} = R_{ti} = 0,8 \text{ cm H}_2\text{O/l/sec.};$$

$$s-R_t = \pm 0,4 \text{ cm H}_2\text{O/l/sec.}$$

- Resistance mit ABC-Schutzmaske

$$m-R_{teM} = 1,5 \text{ cm H}_2\text{O/l/sec.}; \quad s-R_{teM} = \pm 0,7 \text{ cm H}_2\text{O/l/sec.}$$

$$m-R_{tiM} = 4,7 \text{ cm H}_2\text{O/l/sec.}; \quad s-R_{tiM} = \pm 1,4 \text{ cm H}_2\text{O/l/sec.}$$

Den errechneten Unterschied von $p < 0,001$ von jeweils

R_t zu R_{teM} , R_t zu R_{tiM} und R_{teM} zu R_{tiM}

veranschaulicht nachstehende Abbildung.

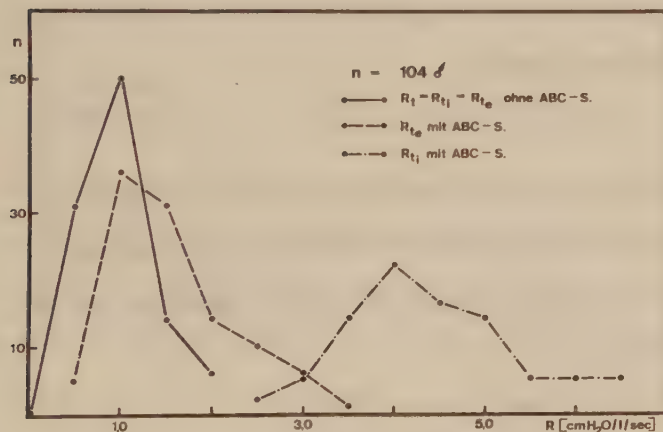


Abbildung Nr. 8

Häufigkeitspolygone der Resistancewerte in Ruhe von $n = 104$ Probanden.

Weiterhin ergeben sich folgende Mittel nebst Streuung:

- Neigungswinkel der Druckströmungsdiagramme ohne ABC-Schutzmaske = Winkel zwischen y-Achse und der Geraden, die durch den oberen und unteren Umkehrpunkt des Druckströmungsdiagrammes zieht

$$m = 82,7^{\circ} ; s = \pm 3,2^{\circ} .$$

- Neigungswinkel der endin- und endexp. Verschußdruckkurven ohne ABC-Schutzmaske zwischen x-Achse und den Geraden, die den mittleren Anstieg der Verschußdruckkurven darstellen:

$$m = 41,3^{\circ} ; s = \pm 6,2^{\circ} .$$

- Paardifferenz zwischen dem Neigungswinkel der Druckströmungsdiagramme ohne ABC-Schutzmaske und demjenigen des expiratorischen Anteiles der Druckströmungsdiagramme mit ABC-Schutzmaske:

$$m = 6,3^{\circ} ; s = \pm 4,8^{\circ} .$$

- Paardifferenz zwischen dem Neigungswinkel der Druckströmungsdiagramme ohne ABC-Schutzmaske und demjenigen des inspiratorischen Anteiles der Druckströmungsdiagramme mit ABC-Schutzmaske:

$$m = 22,4^{\circ} ; s = \pm 13,4^{\circ} .$$

- Alveolar-Druckdifferenz (ΔP_{AO}) bei Strömungs-Null ohne ABC-Schutzmaske:

$$m = 0,5 \text{ cm H}_2\text{O} ; s = \pm 0,5 \text{ cm H}_2\text{O} .$$

Die alveolare Druckdifferenz bei Strömungs-Null unter ABC-Schutzmaske konnte wegen des aufgetretenen Ventileffektes in den Druckströmungsdiagrammen nicht exakt bestimmt werden. Sie entspricht etwa jener ohne ABC-Schutzmaske.

Die Einzelwerte sowie deren Häufigkeitsverteilung der Resistancewerte sind aus den Tabellen des Anhanges, Teil II, zu ersehen.

Bei der Gegenüberstellung der Resistance ohne ABC-Schutzmaske ($R_t = R_{te} = R_{ti}$ s. Ziffer 5/b) und der inspiratorischen Resistance unter ABC-Schutzmaske jedes Probanden in einem Korrelationsdiagramm, zeigen sich unter Einbeziehung der aus Platzgründen nicht eingezeichneten fünf Einzelwerte folgende Verhältnisse:

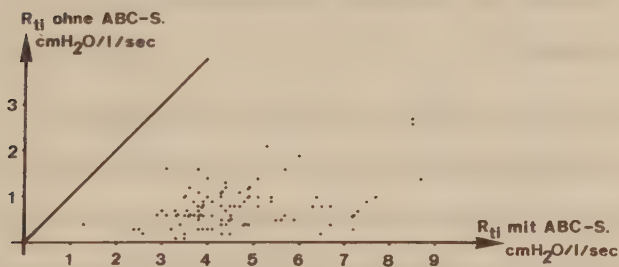


Abbildung Nr. 9

Korrelationsdiagramm der totalen Resistance ohne ABC-Schutzmaske (es gilt hier: $R_t = R_{ti}$!) zur inspiratorischen Resistance

mit ABC-Schutzmaske unter Ruhebedingungen von 98 Probanden. Folgende fünf Werte (in $\text{cm H}_2\text{O}/\text{l}/\text{sec.}$) enthält das Diagramm nicht:

0,4/11,3 - 1,1/12,1 - 1,3/16,1 - 1,2/16,3 - 0,8/19,0.

- Alle Werte liegen unterhalb der Geraden, die das Verhältnis $R_{ti} : R_{tiM} = 1 : 1$ angibt. Demnach erhöht die ABC-Schutzmaske bei allen Probanden die inspiratorische Resistance.
- Der Bereich der einfachen Standardabweichung erstreckt sich für die inspiratorische Resistance ohne ABC-Schutzmaske von 0,4 bis 1,2 $\text{cm H}_2\text{O}/\text{l}/\text{sec.}$ und für die inspiratorische Resistance mit ABC-Schutzmaske von 3,3 bis 6,1 $\text{cm H}_2\text{O}/\text{l}/\text{sec.}$
- Ohne ABC-Schutzmaske entsprechen alle gemessenen Atemwegswiderstände der Norm, da eine Resistance von 2,7 $\text{cm H}_2\text{O}/\text{l}/\text{sec.}$ nicht überschritten wird. Unterhalb (= 15 %) und oberhalb (= 13 %) der einfachen Standardabweichung sind etwa gleich viel Meßwerte.
- Mit ABC-Schutzmaske liegen unterhalb der einfachen Standardabweichung 9 %, oberhalb 20 % der Probanden. Damit besteht eine Verschiebung der inspiratorischen Resistance unter ABC-Schutzmaske für ein Fünftel aller ABC-Schutzmaskenträger in einem Bereich, wie er klinisch bei einer mittelschweren Obstruktion der bronchialen Atemwege gefunden wird.

Aus dem Vergleich dieser Ergebnisse kann gefolgert werden:

- Gesunde Männer unseres Landes haben eine totale Resistance

von etwa 0,1 bis 2,5 cm H₂O/l/sec.

- Ein signifikanter Unterschied von $p < 0,001$ zu diesen normalen Resistancewerten tritt unter ABC-Schutzmaske bereits im Exspirium auf.
- Die ABC-Schutzmaske erhöht im Inspirium die Resistance jedes Probanden. Ein Fünftel aller Probanden erreicht dabei Werte, die klinisch einer mittelschweren Obstruktion der bronchialen Atemwege entsprechen.
- Die Bestimmung des Alveolar-Druckgradienten ΔP_{AO} ist durch den Ventileffekt bei ABC-Schutzmasken nicht exakt meßbar. Sein Betrag kann als Ausdruck für die Breite = Bauchigkeit eines Druckströmungsdiagrammes bei Strömungs-Null gelten.

Ergebnis der ganzkörperplethysmographischen Untersuchungen:

Die ABC-Schutzmaske erhöht den Widerstand der Atmung. Sie behindert besonders das Inspirium (R_{tiM} bei 20 % der Probanden 6,1 cm H₂O/l/sec.). Eine Erhöhung des bronchialen Atemwegswiderstandes unter annähernd Ruhebedingungen auf Werte von 3 cm H₂O/l/sec. entspricht - in diesem Falle für das Inspirium - Werten, wie sie klinisch bei beginnender Obstruktion gefunden werden.

Aus diesen Ergebnissen kann nicht gefolgert werden, daß bei einer mittleren Resistance von 1,5 cm H₂O/l/sec. im Exspirium unter ABC-Schutzmaske bereits unphysiologische Verhältnisse

bezüglich des Atemwegswiderstandes vorlägen. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß sich die hier ermittelte expiratorische Resistance dem oberen Grenzbereich der Norm nähert und somit neben dem inspiratorischen Atemwegswiderstand eine zusätzliche Arbeit der Atemmuskulatur im Expirium bedeutet.

Blutgasanalytische Werte, Blutdruck und Pulsfrequenzen

Unter den beschriebenen Untersuchungsbedingungen wurden folgende Mittel nebst Streuung von Blutgaswerten, Blutdruck und Pulsfrequenzen bei Ruhebedingungen in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1:

Mittelwerte $\bar{m}$ und Standardabweichung s der in Ruhe vor Belastung gewonnenen blutgasanalytischen Werte, Blutdruck und Pulsfrequenzen von n Probanden. Werte vor Dauerbelastung sind in der ersten Kolonne mit "D" gekennzeichnet:

Merkmal	n	ABC-Schutzmaske?	$\bar{m}$	$s \pm$
pH	61	ohne	7,40	0,06
pH-"D"	25	ohne	7,44	0,01
pCO ₂	61	ohne	35,94 torr	1,80 torr
pCO ₂ -"D"	25	ohne	35,80 torr	0,99 torr
pO ₂	61	ohne	94,50 torr	3,38 torr
pO ₂ -"D"	25	ohne	96,02 torr	1,21 torr
RR+(RR-"D")	88	ohne	137/89 mmHg	10/9 mmHg
Puls-F.	61	ohne	82/Min.	13,5/Min.
	59	mit	82/Min.	14,6/Min.
Puls-F. -"D"	25	ohne	87/Min.	13,3/Min.
Puls-F. -"D"	24	mit	106/Min.	10,0/Min.

Die hohen mittleren Blutdruckwerte bei Ruhelage von 137/89mmHg sowie die erhöhten mittleren Pulsfrequenzen von 82-87/Min. im Sitzen, sind, obwohl diese ohne ABC-Schutzmaske gemessen wurden, auf die psychische Erregung der Probanden vor Untersuchungsbeginn zurückzuführen. Das gleiche gilt für die im Sitzen gemessene mittlere Pulsfrequenz von 106/Min. unter ABC-Schutzmaske vor Dauerbelastung. Die blutgasanalytischen Werte entsprechen der Norm.

Spirographische Werte

Die spirographischen Einzel-Meßgrößen wurden nicht auf BTPS/STPD-Bedingungen umgerechnet. Die nachfolgenden Mittelwerte und Standardabweichungen stellen somit Rohwerte dar. (Gerätebetriebsbedingungen siehe Ziffer 3/b).

Die Ergebnisse der im Sitzen gewonnenen spirographischen Werte in Ruhe sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tabelle 2:

Mittelwerte m und Standardabweichungen s der in Ruhe vor Belastung ermittelten Ventilationsgrößen von n Probanden.

Merkmal	n	ABC-Schutzmaske?	m	s
AZQ	50	--	1:1, 4	1:1, 1-1:1, 7
AZQ	50	ja	1:1, 2	1:1, 0-1:1, 4
VK	60	--	5,1 1	0, 7 1
VK	60	ja	5,1 1	0, 7 1
AST	60	--	82 %	9, 8 %
AST	60	ja	84 %	9, 5 %
AGW	49	--	77 l/Min.	37 l/Min.
AGW	49	ja	49 l/Min.	15 l/Min.
AF _{AGW}	49	--	53/Min.	19/Min.
AF _{AGW}	49	ja	50/Min.	18/Min.
AV _{AGW}	49	--	1, 5 1	0, 5 1
AV _{AGW}	49	ja	1, 1 1	0, 3 1

Die sich entsprechenden Mittelwerte der Tabelle 2 sind zur Veranschaulichung als Säulen dargestellt (Abb. Nr. 10).

Durch die ABC-Schutzmaske werden nicht beeinträchtigt: Vitalkapazität, Atemstoßwert (seine Erhöhung unter ABC-Schutzmaske ist auf einen Trainingseffekt zurückzuführen) und Atemfrequenz des Atemgrenzwertes. Dagegen sind der Atemgrenzwert mit 28 l/Min. und dessen Atemvolumen mit 0, 4 l/Atemzug unter ABC-Schutzmaske hochsignifikant verringert. Der Atemzeitquotient ist zwar mit

$p < 0,001$ unter ABC-Schutzmaske signifikant eingeschränkt, doch kann daraus nur auf eine beginnende inspiratorische Behinderung durch den Masken-/Filterwiderstand geschlossen werden. Insgesamt zeigen diese Ergebnisse keine wesentliche Beeinträchtigung der Ruheatmung durch die ABC-Schutzmaske.

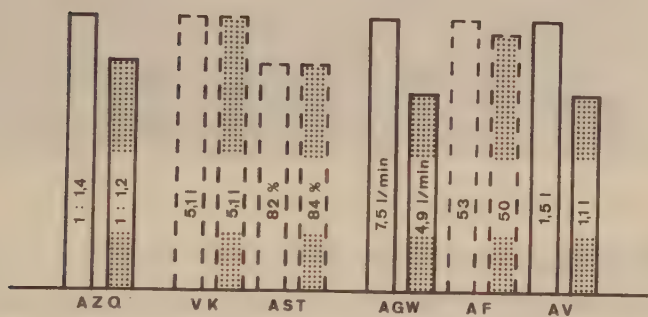


Abbildung Nr. 10

Darstellung der spiographischen Ruhewerte bei unbehinderte Atmung ohne und bei Atmung mit ABC-Schutzmaske (= punktierte Säulen).

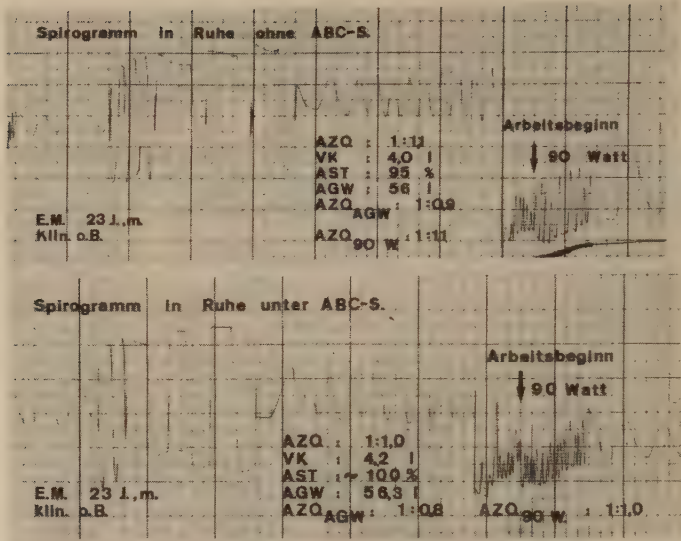


Abbildung Nr. 11

Spirogramme eines Probanden in Ruhe; 1) ohne ABC-Schutzmaske, 2) mit ABC-Schutzmaske.

b) Spirographische Ventilationsgrößen bei ansteigender Belastung

Eine Übersicht über Mittel und Streuung des Atemminutenvolumens sowie dessen Atemfrequenz und Atemvolumen und der maximal aufgenommenen Sauerstoffmenge gibt Tabelle 3. Das Atemminutenvolumen und die maximal aufgenommene Sauerstoffmenge wurden in der vita maxima der jeweils letzten Arbeitsminute vor Arbeitsabbruch ausgewertet.

Tabelle 3:

Mittelwerte $\bar{m}$ und Standardabweichung s der Ventilationsgrößen in der jeweils letzten Minute vor Abbruch der ansteigenden Belastung von n Probanden.

Tabelle 3

Merkmal	n	ABC-Schutzmaske?	m	s $\pm$
AMV	61	--	60 l/Min.	13 l/Min.
AMV	60	ja	59 l/Min.	11 l/Min.
AF _{AMV}	61	--	29 /Min.	8,3 /Min.
AF _{AMV}	60	ja	26 /Min.	6,5 /Min.
AV _{AMV}	61	--	2,1 l	0,4 l
AV _{AMV}	60	ja	2,3 l	0,4 l
MO ₂ A	61	--	2,8 l	0,3 l
MO ₂ A	60	ja	2,5 l	0,4 l

Unter ABC-Schutzmaske wird das Atemminutenvolumen gegenüber der unbehinderten Atmung bei der hier vorgegebenen Arbeit nicht beeinflusst, doch nimmt seine Atemfrequenz ab und sein Atemvolumen zu ($p = 0,01$ bis $0,05$). Hieraus kann gefolgert werden, daß für den einzelnen Probanden bei dieser Belastungsart die erforderliche Luftmenge unter ABC-Schutzmaske durch einen individuellen Ausgleich von Atemfrequenz und Atemvolumen möglich ist.

Die maximale Sauerstoffaufnahme, die nach Knipping (1960) ein Maß der cardio-pulmonalen Funktion in der *vita maxima* darstellt, ist unter ABC-Schutzmaske um 0,3 l mit $p < 0,001$ hochsignifikant verringert.

c) Blutdruck und blutgasanalytische Werte sofort nach ansteigender Belastung

Maximal 15 Sekunden nach Abbruch der Untersuchung ergeben sich folgende Werte:

(Da alle Werte ohne ABC-Schutzmaske gewonnen wurden, ist in der dritten Kolonne der Tabelle eine vorausgegangene Untersuchung unter ABC-Schutzmaske mit "ja" gekennzeichnet).

Tabelle 4:

Mittelwerte $\bar{m}$ und Standardabweichung s von Blutdruck und blutgasanalytischen Werten von n Probanden sofort nach Abbruch der ansteigenden Belastung.

Merkmal	n	ABC-Schutzmaske	$\bar{m}$	$s \pm$
RR	61	--	211/73mm Hg	19/14mm Hg
RR	60	"ja"	223/75mm Hg	22/13mm Hg
pH	61	--	7,40	0,07
pH	60	"ja"	7,40	0,07
pCO ₂	61	--	36,39 torr	1,9 torr
pCO ₂	60	"ja"	36,79 torr	2,0 torr
pO ₂	61	--	92,5 torr	3,2 torr
pO ₂	60	"ja"	91,5 torr	3,3 torr

Der mangelnde Unterschied zwischen Atmung ohne zu Atmung mit ABC-Schutzatmung kommt - zumindest bei den blutgasanaly-

tischen Werten - unerwartet, da jeder Proband am Ende der ansteigenden Arbeitsbelastung unter ABC-Schutzmaske folgende Symptome zeigte:

- Angestregtes, krampfhaftes Einatmen. Dabei flottierte der Maskenkörper im Bereich der Atemventile im Atemrhythmus.
- Beim Inspirium etwa daumenbreite, weiße Streifen auf der Haut entlang des Oberrandes des Ansatzes des Innenrahmens.
- Dunkelrote Verfärbung der Haut, beginnend am Halsansatz über Nacken und Hinterhaupt sowie über die Ohren bis zuden Schläfen (Rest des Kopfes durch den Maskenkörper bedeckt).
- Teilweise beendeten Probanden die Belastungsuntersuchungen aus Luftmangel durch Abreißen der ABC-Schutzmaske.

Auf Befragen schilderten die Probanden, daß am Ende der Belastungsuntersuchung der Innenrahmen im Inspirium angesaugt würde und sie damit durch die Nase fast keine Luft bekämen. Auch "sonst" bekämen sie nicht genügend Luft.

Der sofort nach Arbeitsabbruch im Liegen bestimmte Blutdruck zeigt dagegen eine signifikante Erhöhung des systolischen Druckes, während im Mittel 211/73 mm Hg ohne ABC-Schutzmaske gemessen wurden, steigt unter ABC-Schutzmaske der Blutdruck auf 223/75 mm Hg.

Die gleichen blutgasanalytischen Werte ohne und mit ABC-Schutzmaske sind wie folgt zu erklären:

Luftblasenfreie Kapillarblutentnahmen aus dem Ohrläppchen - zu-

mal unter ABC-Schutzmaske - sind während Fahrradergometerbelastungen bei hohen Wattstufen technisch nicht einfach durchführbar. Das gleiche gilt auch zur Zeit für die Bestimmung des Blutdruckes nach Riva-Rocci. Die aus diesen Gründen praktisch unumgängliche Entfernung der ABC-Schutzmaske und Einnahme der Ruhelage zur Blutdruckmessung und Blutentnahme wirkt als "Erholungsphase". Ihre Dauer von maximal 15 Sekunden erscheint ausreichend, um zu erwartende zusätzliche Maskeneffekte auf die Blutgase und den Blutdruck auszugleichen.

d) Pulsfrequenzen und Leistungsdauer bei ansteigender Belastung

Zur Beurteilung der cardiovasculären Funktion wurden neben dem Blutdruck (s. Tabelle 4) die Pulsfrequenzen bei ansteigender Belastung mit und ohne ABC-Schutzmaske in Tabelle 5 bestimmt. In der gleichen Tabelle sowie in Abbildung Nr. 12 wurde außerdem die Leistungsdauer der Probanden in den einzelnen Wattstufen gegenübergestellt.

Tabelle 5:

Mittelwerte $\bar{m}$ und Standardabweichungen s der korrespondierenden Pulsfrequenzen in den einzelnen Wattstufen sowie die Häufigkeiten des erfolgten Arbeitsabbruches in den einzelnen Arbeitsminuten von n Probanden.

Tabelle 5:

ABG-S.	Puls-F. (Anz./min)	Ruhe	Wattstufen						Arbeitsabbruch					(min.) (Watt)
			90	120	150	180	210	240	4. 180	5. 210	6. -	7. 240	8. -	
ohne	n	61	61	61	61	61	54	35	0	7	26	43	57	
	m	83	120	133	146	160	170	176	-	-	-	-	-	
	s $\pm$	14	13	14	14	14	16	12	-	-	-	-	-	
mit	n	59	59	59	59	57	47	17	3	13	43	60	60	
	m	82	119	132	146	159	170	178	-	-	-	-	-	
	s $\pm$	15	14	13	13	13	13	8	-	-	-	-	-	

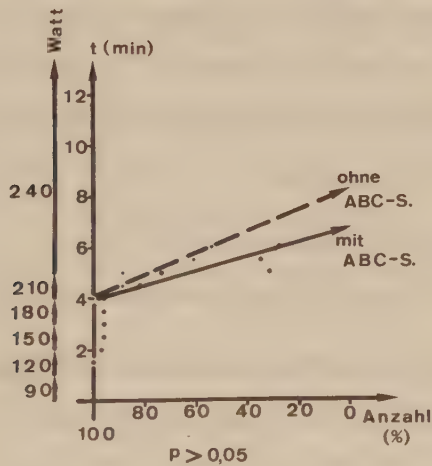


Abbildung Nr. 12

Leistungsdauerdiagramme der Probanden ohne/mit ABC-Schutzmaske bei ansteigender, fahrradergometrischer Belastung von

90 Watt bis 210/240 Watt. Anzahl der Probanden = 60 (= 100 %).

In keiner Belastungsstufe weichen die Pulsfrequenzen unter ABC-Schutzmaske von jenen bei unbehinderter Atmung wesentlich ab. Obwohl es bei der hier geforderten Leistung unter ABC-Schutzmaske häufiger und früher zum Abbruch der Arbeit kommt, sind die in Tabelle 5 aufgeführten Häufigkeiten im Chi-Quadrat-Test nicht voneinander signifikant verschieden. Der Anstieg der beiden Regressionsgeraden der Abbildung 12 ist mit $p = 0,05$ bis $0,1$ ebenfalls nicht signifikant unterschiedlich.

e) Atemzeitquotient bei Ruhe, 90 Watt, 150 Watt, 240 Watt und bei Hyperventilation in Ruhe

Die Auswertung des Atemzeitquotienten bei bestimmten Belastungsstufen und bei Hyperventilation in Ruhe zeigt Tabelle 5. Zur Berechnung des Zeitverhältnisses von Inspirium zu Expirium wurde wie folgt vorgegangen:

- Zeitdauer des Inspiriums = 1.
- Zeitdauer des Expiriums beträgt demnach: $X = \frac{1 \cdot t_{\text{Exp.}}}{t_{\text{Insp.}}}$
- Der Vergleich der ausgewerteten Atemkurven der Tabelle 6 ergab, daß stets $t_{\text{Insp.}} > t_{\text{Exp.}}$ war.

Tabelle 6:

Mittelwerte $\bar{m}$ und Standardabweichung s der Atemzeitquotienten in Ruhe, in einigen Wettstufen der ansteigenden Belastung und bei Hyperventilation von n Probanden. Zeitdauer des Inspiriums $= 1$.

Belastungsart	n	ABC-Schutzmaske?	AZQ- $\bar{m}$	AZQ- s
Ruhe	50	--	1:1,4	1:1,1 - 1:1,7
Ruhe	50	ja	1:1,2	1:1,0 - 1:1,4
90 Watt	11	--	1:1,3	1:1,1 - 1:1,5
90 Watt	11	ja	1:1,0	1:0,8 - 1:1,2
150 Watt	11	--	1:1,2	1:1,0 - 1:1,4
150 Watt	11	ja	1:0,8	1:0,7 - 1:0,9
240 Watt	11	--	1:1,0	1:0,8 - 1:1,2
240 Watt	11	ja	1:0,7	1:0,6 - 1:0,9
AZQ _{AGW}	49	--	1:1,0	1:0,9 - 1:1,1
AZQ _{AGW}	49	ja	1:0,9	1:0,8 - 1:1,0

Die bei ansteigender Belastung beobachtete mittlere, relative Zunahme der Inspirationsdauer von:

- 1 : 1,4 in Ruhe zu 1 : 1,1 bei 240 Watt - freie Atmung
- 1 : 1,2 in Ruhe zu 1 : 0,7 bei 210 Watt - Atmung unter ABC-Schutzmaske

weist auf den zu überwindenden Masken-Filter-Widerstand in der Inspirationsphase hin. Sichtbar wurde dies unter ABC-Schutzmaske etwa ab 150 Watt bei der Untersuchung mit ansteigender Belastung.

Wie bereits oben erwähnt, ist bei der Bestimmung des Atemzeit-

quotienten die Zeitdauer des Inspiriums = 1 zu setzen. Gibt man den inspiratorischen Anteil eines Atemzuges zu seiner jeweiligen Zeitdauer in Sekunden an, so zeigt sich nach gezielter Auswertung eines Teilkollektives der Probanden, daß unter ABC-Schutzmaske das Inspirium gegenüber der freien Atmung

- in Ruhe nicht verschieden ist,
- bei 240 Watt jedoch von 0,95 Sek. auf 1,31 Sek., d.h. um 38% signifikant ($p = 0,01$ bis $0,001$) zunimmt (s. Tabelle 7).

Tabelle 7:

Mittelwerte m und Standardabweichung s der Dauer eines Atemzuges sowie dessen inspiratorischen Anteiles von n Probanden bei Ruhe und bei 240 Watt.

Belastungsart	n	ABC-Schutzmaske?	m (sec)		$s \pm$ (sec)	
			Atemzug	Insp.	Atemzug	Insp.
Ruhe	50	--	3,67	1,50	1,37	0,52
Ruhe	50	ja	3,65	1,68	1,25	0,55
240 Watt	11	--	1,88	0,95	0,44	0,25
240 Watt	11	ja	2,05	1,31	0,29	0,24

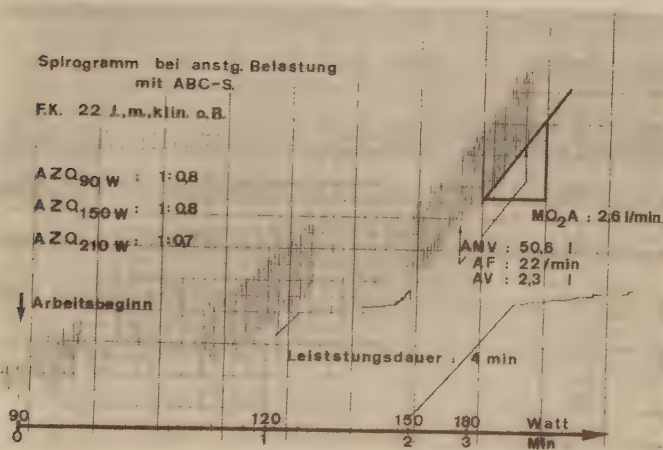
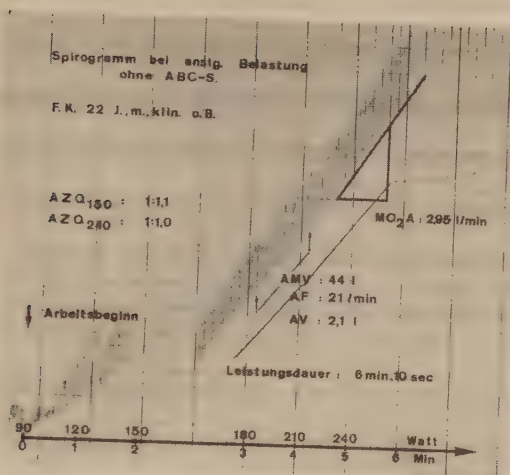


Abbildung Nr. 13

Spirogramme eines Probanden ohne/mit ABC-Schutzmaske bei ansteigender, fahrradergometrischer Belastung von 90 Watt bis 210/240 Watt. Oben: ohne ABC-Schutzmaske, unten: mit ABC-Schutzmaske.

Die Spirogramme zeigen unter anderem das verlängerte Inspirium unter ABC-Schutzmaske.

f) Spirographische Ventilationsgrößen bei Dauerbelastung

Unter den beschriebenen Untersuchungsbedingungen (s. Ziffer 5/d) sind in Tabelle 8 die errechneten Mittelwerte und Standardabweichungen der Atemminutenvolumina sowie deren Atemfrequenzen und Atemvolumina sowie die maximal aufgenommene Sauerstoffmenge bei Dauerbelastung von 210 Watt (ab 7. Min. 240 Watt) in der vita maxima der jeweils letzten Arbeitsminute zusammengestellt.

Tabelle 8:

Mittelwerte m und Standardabweichung s der bei konstanter Belastung in der vita maxima der letzten Arbeitsminute gewonnenen Ventilationsgrößen von n Probanden.

Merkmal	n	ABC-Schutzmaske?	m	$s \pm$
AMV	25	--	103, 2 l/Min.	26, 4 l/Min.
AMV	23	ja	59, 4 l/Min.	22, 6 l/Min.
AF _{AMV}	25	--	43, 0 /Min.	9, 0 /Min.
AF _{AMV}	23	ja	27, 0 /Min.	8, 0 /Min.
AV _{AMV}	25	--	2, 4 l	0, 4 l
AV _{AMV}	23	ja	2, 2 l	0, 4 l
MO ₂ A	25	--	3, 2 l	0, 6 l
MO ₂ A	23	ja	2, 45 l	0, 5 l

Die obigen Werte beziehen sich auf die letzte Arbeitsminute, also auf die Leistungsgrenze des jeweiligen Probanden. Unter ABC-

Schutzmaske ist im Mittel das Atemminutenvolumen um fast die Hälfte, die Atemfrequenz um mehr als ein Drittel und die maximal aufgenommene Sauerstoffmenge um ein Viertel beschränkt. Das Atemvolumen ist mit $p = 0,01$ bis $0,05$ wahrscheinlich verringert.

Aus dem Vergleich mit den entsprechenden Werten bei ansteigender Belastung ist zu vermuten, daß unter ABC-Schutzmaske das Produkt von Atemfrequenz und Atemvolumen, abgesehen von einer individuellen Streubreite dieser Größen je Proband, auf ein Atemminutenvolumen von etwa 60 ± 22 l begrenzt wird. Ein ähnliches Ergebnis zeigt auch die maximal aufgenommene Sauerstoffmenge von $2,5 \pm 0,5$ l/Min.

g) Blutdruck und blutgasanalytische Werte sofort nach Dauerbelastung

Maximal 15 Sekunden nach Abbruch der Dauerbelastung ergaben sich nachfolgende Werte. Eine vorausgegangene Belastung unter ABC-Schutzmaske ist in der dritten Kolonne der Tabelle 9 mit "ja" bezeichnet.

Tabelle 9:

Mittelwerte $\bar{m}$ und Standardabweichung s der sofort nach konstanter Belastung von 210 Watt (ab 7. Min. 240 Watt) gewonnenen Blutdruck- und blutgasanalytischen Werte von n Probanden.

Tabelle 9:

Merkmal	n	ABC-Schutzmaske?	m	s $\pm$
RR	25	--	218/70 mm Hg	21/11 mm Hg
RR	23	"ja"	216/80 mm Hg	19/14 mm Hg
pH	25	--	7,46	0,04
pH	23	"ja"	7,46	0,04
pCO ₂	25	--	36,49 torr	0,88 torr
pCO ₂	23	"ja"	36,66 torr	0,78 torr
pO ₂	25	--	94,00 torr	0,97 torr
pO ₂	23	"ja"	92,60 torr	1,27 torr

Bezüglich des mangelnden Unterschiedes im Verhältnis von freier Atmung zu Atmung unter ABC-Schutzmaske bei den Blutdruck- und blutgasanalytischen Werten gilt Ziffer 6/c sinngemäß. Unter ABC-Schutzmaske ist jedoch der Sauerstoffpartialdruck mit $p < 0,001$ und der diastolische Blutdruck mit $p < 0,05$ signifikant verschieden.

h) Pulsfrequenzen und Leistungsdauer bei Dauerbelastung von 210 Watt

Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Pulsfrequenzen bei konstanter Belastung von 210 Watt (ab 7. Min. 240 Watt) sowie die Häufigkeit des Arbeitsabbruches. Die besonders unter ABC-Schutzmaske erhöhten Ruhepulswerte sind - wie bei der ansteigenden Belastung - auf die Nervosität der Probanden vor dem Arbeitsversuch zurückzuführen. - Die korrespondierenden Pulswerte unter ABC-Schutzmaske liegen durchweg über jenen bei unbehinderter Atmung.

Ab der 4. Arbeitsminute ist jedoch ein signifikanter Unterschied wegen der wenigen im Arbeitsversuch unter ABC-Schutzmaske verbliebenen Probanden nicht statistisch zu sichern. - Die Zunahme der Pulsfrequenz in den beiden ersten Minuten ohne ABC-Schutzmaske ist gegenüber der Maskenatmung größer, was auf die hohe Ausgangspulsfrequenz von 106/Min. unter ABC-Schutzmaske zurückgeführt werden könnte.

Tabelle 10:

Mittelwerte $\bar{m}$ und Streuung s der Pulsfrequenzen und der Häufigkeit des Arbeitsabbruches bei konstanter Belastung von 210 Watt (ab 7. Min. 240 Watt) von n Probanden.

ABC-S	Puls-F. (Anz/Min)	Ruhe	Dauer der Belastung (min)										Arbeitsabbruch									
			210 Watt					240 Watt					210 Watt					240 Watt				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		1	2	3	4	5	6	7	8	9	(min)
ohne	$\bar{n}$	25	24	24	23	18	16	13	11	6	3		0	0	2	7	9	12	14	19	23	
	$\bar{m}$	87	146	160	172	175	177	178	182	188	188		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	$s \pm$	13	13	14	16	15	14	12	13	6	14		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
mit	$\bar{n}$	24	24	21	11	4	1	1	-	-	-		0	2	12	19	22	22	23	23	23	
	$\bar{m}$	106	160	170	183	185	180	186	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	$s \pm$	10	12	10	11	6	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	

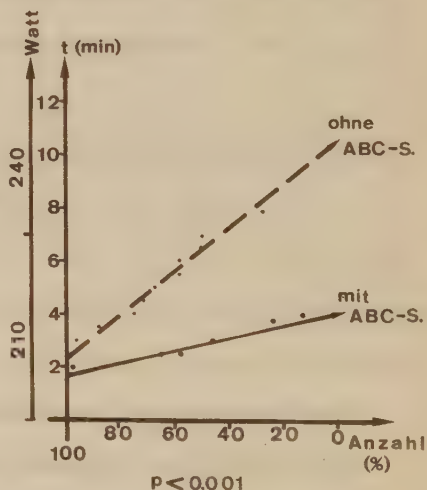
Im Gegensatz zu der Leistungsdauer bei ansteigender Belastung zeigt das nachfolgende Diagramm eine signifikant geringere Arbeitszeit bei Dauerbelastung (ab 7. Min. 210 Watt) unter ABC-Schutzmaske.

Gleichzeitig ist aus Tabelle 10 zu ersehen, daß es ähnlich den Verhältnissen bei ansteigender Belastung unter ABC-Schutzmaske häufig und früher zum Arbeitsabbruch kommt. Im Mittel beträgt die Leistungsdauer unter ABC-Schutzmaske 2,7 Min. gegenüber 5,9 Min. bei freier Atmung; ab der 4. Arbeitsminute besteht im Chi-Quadrat-Test ein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit des Arbeitsabbruches. Als Ursache muß die Begrenzung von maximaler Sauerstoffaufnahme und Atemminutenvolumen durch die ABC-Schutzmaske gelten (s. oben). Hinzu tritt vor allem durch das erschwerte Inspirium der erhöhte Energieverbrauch der Atmung, der sich auf die hier geforderte hohe Leistung hemmend auswirken muß. Außerdem war das angestrenzte und krampfhaftes Einatmen unter ABC-Schutzmaske bereits nach der zweiten Arbeitsminute zu beobachten.

Abbildung Nr. 14

Leistungsdauerdiagramme der Probanden ohne und mit ABC-Schutzmaske bei fahrradergometrischer Dauerbelastung von 210 Watt. Anzahl der Probanden = 23 (= 100%).

Der Unterschied im Anstieg beider Regressionsgeraden ist mit $p < 0,001$ statistisch gesichert.



i) Gegenüberstellung der Einzelwerte von Atemminutenvolumen, Atemfrequenz, Atemvolumen und maximaler Sauerstoffaufnahme in der letzten Arbeitsminute bei Dauerbelastung.

In den nachfolgenden Korrelationsdiagrammen sind je Proband vergleichend ohne und mit ABC-Schutzmaske bei Dauerbelastung von 210 Watt (ab 7. Min. 240 Watt) in der letzten Arbeitsminute gegenübergestellt:

- Atemminutenvolumen: Abbildung Nr. 15
- Atemfrequenz: Abbildung Nr. 16
- Atemvolumen: Abbildung Nr. 17
- maximale Sauerstoffaufnahme: Abbildung Nr. 18

Die Gerade von 45° Anstieg im jeweiligen Diagramm gibt das Verhältnis der Atmung ohne - zur Atmung mit ABC-Schutzmaske = 1 : 1 an. Unter dieser liegen je 96 % der Probanden bei dem Atemminutenvolumen, der Atemfrequenz und der maximal aufgenommenen Sauerstoffmenge und 66 % aller Probanden bei dem Atemvolumen. Diese Ventilationsgrößen sind somit im steady state unter ABC-Schutzmaske erheblich eingeschränkt.

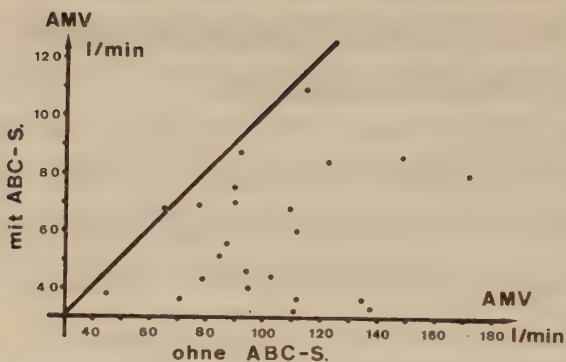


Abbildung Nr. 15

Korrelationsdiagramm des Atemminutenvolumens der letzten Arbeitsminute bei fahrradergometrischer Dauerbelastung mit 210 Watt von Atmung ohne - zu Atmung unter ABC-Schutzmaske. Anzahl der Probanden = 23.

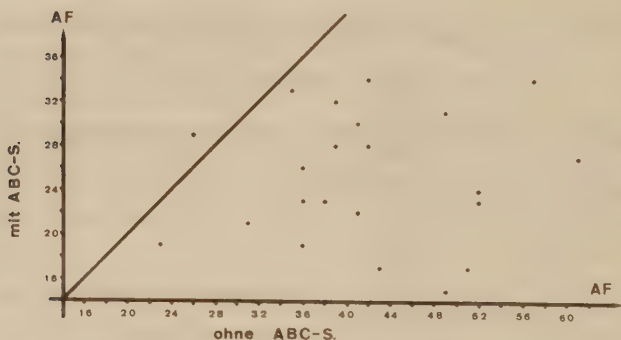


Abbildung Nr. 16

Korrelationsdiagramm der Atemfrequenz der letzten Arbeitsminute bei fahrradergometrischer Dauerbelastung mit 210 Watt von Atmung ohne - zu Atmung unter ABC-Schutzmaske. Anzahl der Probanden = 23.

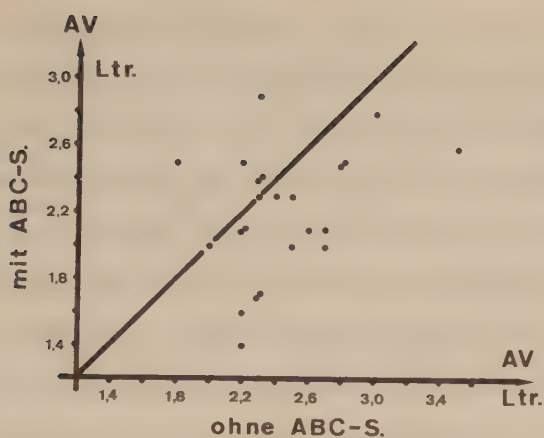


Abbildung Nr. 17

Korrelationsdiagramm des Atemvolumens der letzten Arbeitsminute bei fahrradergometrischer Dauerbelastung mit 210 Watt von Atmung ohne - zu Atmung unter ABC-Schutzmaske. Anzahl der Probanden = 23

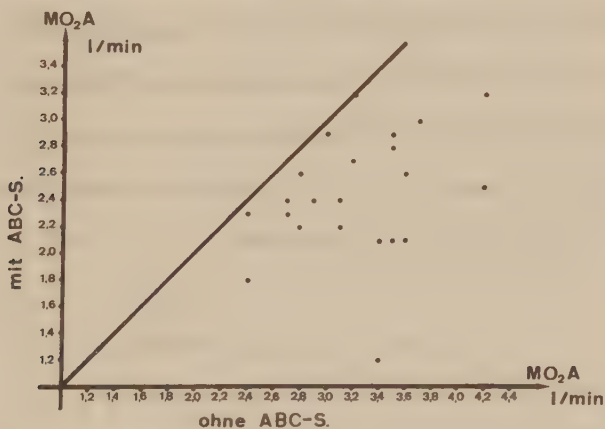


Abbildung Nr. 18

Korrelationsdiagramm der maximal aufgenommenen Sauerstoffmenge in der letzten Arbeitsminute bei fahrradergometrischer Dauerbelastung mit 210 Watt von Atmung ohne- zu Atmung unter ABC-Schutzmaske. Anzahl der Probanden = 23

Bei dem Vergleich der Einzelwerte der vorstehenden Diagramme ergibt sich, daß je 8,5 % der Probanden ein Atemminutenvolumen-Defizit von etwa 75 l bzw. etwa 95 l unter ABC-Schutzmaske aufweisen. Diese Probanden (= 17 %) können somit bei einer Dauerbelastung von 210 Watt unter ABC-Schutzmasken nur etwa 25 % der für sie hierfür erforderlichen Luftmenge ventilieren (= 25 % des Atemminutenvolumens ohne ABC-Schutzmaske). Dabei ist ihre Atemfrequenz um mehr als 50 %, ihr Atemvolumen um etwa 30 % und ihre maximal aufgenommene Sauerstoffmenge um etwa 40 % gegenüber der maskenfreien Atmung eingeschränkt. Eine Dauerbelastung in dieser Größenordnung unter ABC-Schutzmaske ist diesen Probanden für auch nur wenige Minuten unzumutbar. Demgegenüber behindert die ABC-Schutzmaske das Atemminutenvolumen und die maximal aufgenommene Sauerstoffmenge von etwa einem Fünftel der Probanden nur gering. Diese Gruppe hatte einen sehr guten allgemeinen Trainingszustand und brach die Belastungsuntersuchung erst nach völliger Erschöpfung und starken Zeichen von Atemnot ab. Die ABC-Schutzmaske mußte sofort abgenommen werden.

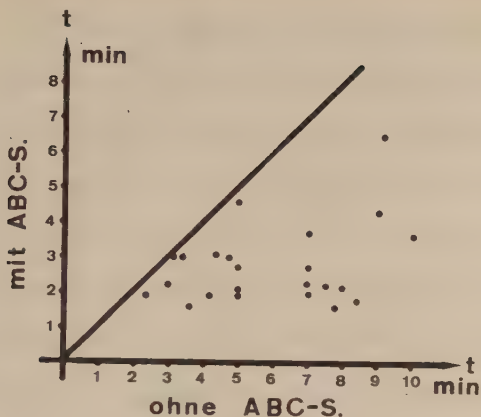


Abbildung Nr. 19

Korrelationsdiagramm der Leistungsdauer ohne und unter ABC-Schutzmaske bei fahrradergometrischer Dauerbelastung mit 210 Watt von 23 Probanden.

Bei Gegenüberstellung der Leistungsdauer je Proband ohne und mit ABC-Schutzmaske zeigt sich, daß alle Probanden die geforderte Arbeit von 210 Watt ohne ABC-Schutzmaske länger leisten können (vgl. auch Abb. Nr. 14).

Gleichzeitig fallen bei den Belastungsuntersuchungen ohne ABC-Schutzmaske zwei Leistungsgruppen auf. Gruppe A: drei bis fünf Minuten Leistungsdauer; Gruppe B: sieben bis neun Minuten Leistungsdauer. Gruppe A wurde am Untersuchungstag erst im zweiten Durchgang ohne ABC-Schutzmaske getestet; Gruppe B begann zuerst mit der Belastung ohne ABC-Schutzmaske. Die Ursache der geringeren Leistung der Gruppe A gegenüber der

Gruppe B ist offensichtlich in der hier vorausgegangenen Belastungsuntersuchung unter ABC-Schutzmaske zu suchen.

Unabhängig von der vorausgegangenen Belastung (= unabhängig vom Ermüdungszustand) ist jedoch bei beiden Gruppen unter ABC-Schutzmaske eine annähernd gleiche Leistungsdauer zwischen 1,5 und 3,5 Minuten zu beobachten. Entgegen der Erwartung zeigt Gruppe A, obwohl sie körperlich noch frisch mit dem Belastungstest unter ABC-Schutzmaske begann, keine längere Leistungsdauer gegenüber Gruppe B. Die atmungs- und leistungseinschränkenden Eigenschaften der ABC-Schutzmaske liegen somit am ehesten in ihrer Konstruktion und sind durch einen besseren Trainingszustand oder Maskengewöhnung nicht wesentlich zu beeinflussen.

Die folgenden Abbildungen vergleichen die Spirogramme ohne und mit ABC-Schutzmaske jeweils eines Probanden, der repräsentativ für die Verteilung der Einzelwerte der obigen Korrelationsdiagramme ist. Dabei wird die Behinderung der Atmung durch die ABC-Schutzmaske bei Dauerbelastung von 210 Watt in drei Stufen eingeteilt.

Abbildung Nr. 20/a: geringe Behinderung, etwa bei einem Fünftel der Probanden.

Abbildung Nr. 20/b: deutliche Behinderung, etwa bei drei Fünftel der Probanden.

Abbildung Nr. 20/c: starke Behinderung, etwa bei einem Fünftel der Probanden.

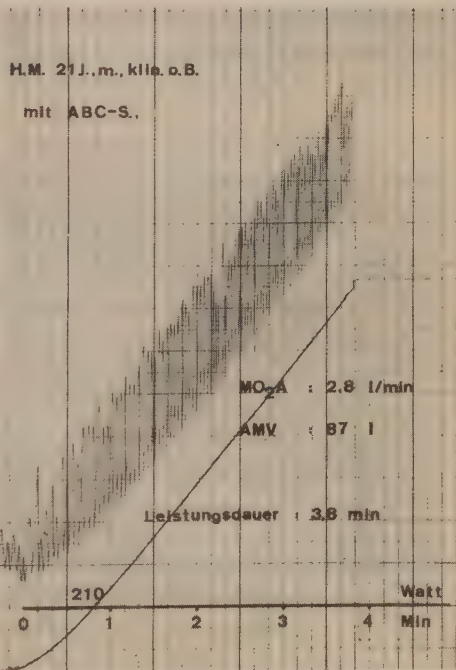
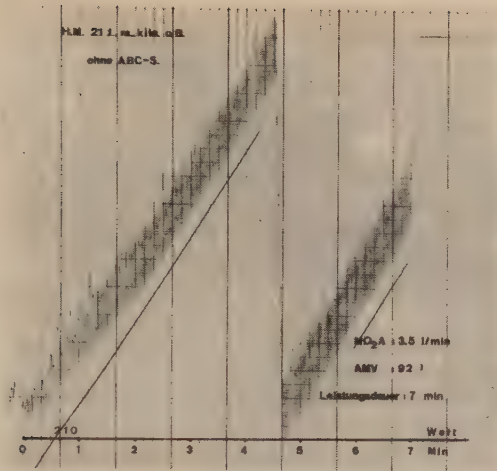


Abbildung Nr. 20/a:

Spirogramme eines Probanden ohne und mit ABC-Schutzmaske bei fahrradergometrischer Dauerbelastung von 210 Watt.

Oben: ohne ABC-Schutzmaske.

Unten: mit ABC-Schutzmaske.

Ergebnis:

Bei unverändertem Atemminutenvolumen ist unter ABC-Schutzmaske die maximale Sauerstoffaufnahme um ein Fünftel und die Leistungsdauer um fast die Hälfte reduziert. Es besteht eine geringe Behinderung der Atmung durch die ABC-Schutzmaske.

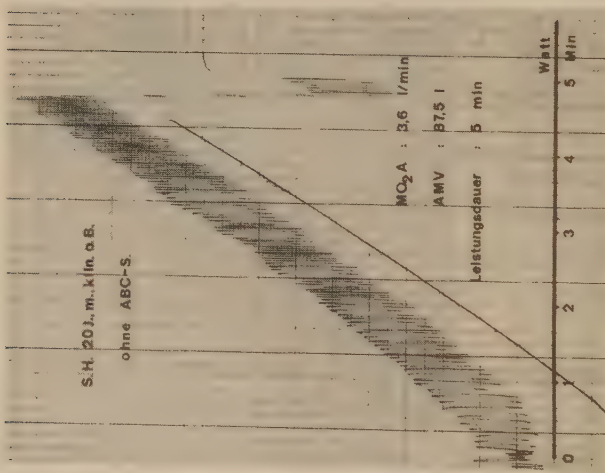
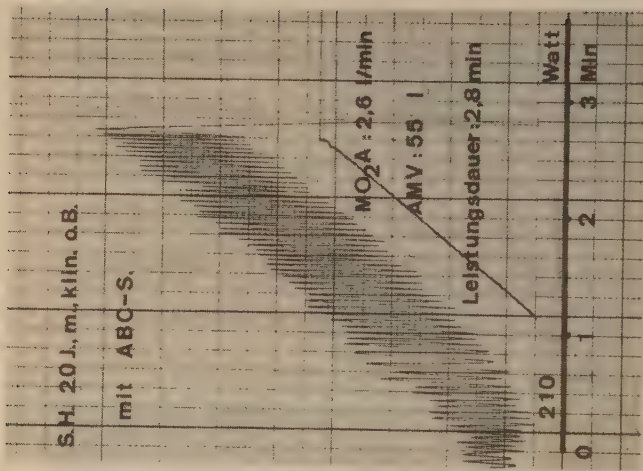


Abbildung Nr. 20/b:

Spirogramme eines Probanden ohne und mit ABC-Schutzmaske bei fahrradergometrischer Dauerbelastung von 210 Watt. Links: ohne ABC-Schutzmaske, rechts: mit ABC-Schutzmaske.

Ergebnis: Die ABC-Schutzmaske vermindert Atemminutenvolumen, maximale Sauerstoffaufnahme und Leistungsdauer um je etwa ein Drittel. Es besteht eine deutliche Behinderung der Atmung durch die ABC-Schutzmaske.

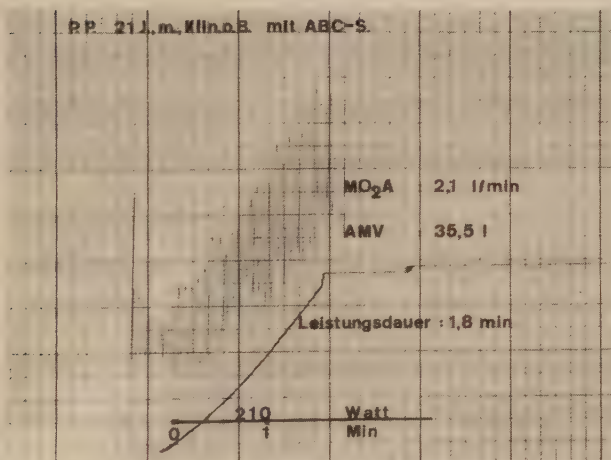
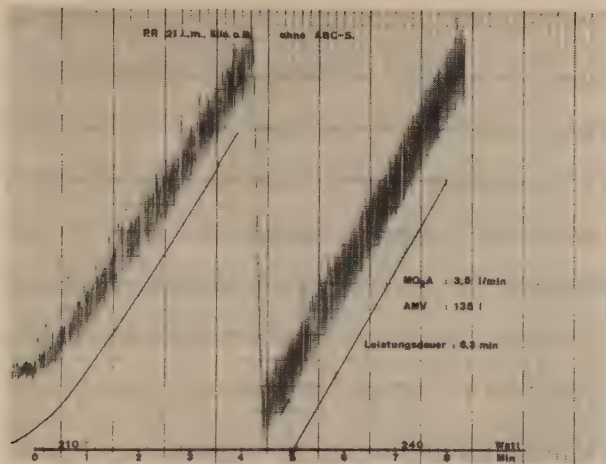


Abbildung Nr. 20/c:

Spirogramme eines Probanden ohne und mit ABC-Schutzmaske bei fahrradergometrischer Dauerbelastung von 210 Watt.

Ergebnis:

Gegenüber der unbehinderten Atmung ist unter ABC-Schutzmaske die maximale Sauerstoffaufnahme um 40 %, das Atemminutenvolumen um 70 %, die Leistungsdauer um 80% verringert. Es besteht eine starke Behinderung der Atmung unter ABC-Schutzmaske.

Besprechung der Ergebnisse

Schutzmasken haben in den letzten 50 Jahren sowohl in der modernen Arbeitswelt als auch bei den Streitkräften erhebliche Bedeutung erlangt. In diesem Zusammenhang seien aus der Industrie die Schutzmasken bei Arbeiten in hohen Staubkonzentrationen, mit giftigen Gasen und Dämpfen und mit radioaktiven Substanzen sowie bei Unfällen in der chemischen Industrie erwähnt. Im militärischem Bereich werden sie während der Selbstschutzausbildung gegen einen Einsatz von atomaren, bakteriologischen und chemischen Kampfmitteln von den Soldaten fast täglich getragen.

In der Literatur sind verschiedentlich Untersuchungen über die Wirksamkeit solcher Atemfiltergeräte beschrieben worden. Grundsätzlich kann man hierbei methodisch drei verschiedene Verfahren unterscheiden:

1. Prüfung von Masken hinsichtlich ihres bequemen und luftdichten Sitzes.
2. Durchströmungsversuche von Atemfiltern zur Feststellung von Größe und Dauer ihrer Ad- und Absorptionsfähigkeit sowie der Änderung ihres Reibungswiderstandes.

Diese technischen Untersuchungen werden laufend von den Herstellerfirmen bei ihrer Entwicklung und Erprobung gemacht. Grundlegende Erkenntnisse auf diesem Gebiet veröffentlichten bereits vor 40 Jahren Hanslian (1927), Engelhard (1930, 1932), und Bruns (1934).

3. Auswirkungen auf die Lungenfunktionswerte.

Eine Beeinträchtigung der Atmung durch Schutzmasken wurde spiographisch von Schneider (1939) und Matthes (1940) sowie mit Hilfe von Oesophagusdruckmessungen besonders von Muhar und Lempert (1966) festgestellt. Daneben bestimmten Millahn und Eckermann (1964) den Energieverbrauch der Atmung mit Hilfe verschiedener Atemwiderstände.

Unter diesen Gesichtspunkten hielten wir es für angezeigt, eine neue Studie durchzuführen. Sie erschien uns aus folgenden Gründen notwendig:

1. Es liegen teilweise neue und auch exaktere Methoden zur Lungenfunktionsprüfung vor.
2. Seit etwa 2 - 3 Jahren ist in die Bundeswehr eine neue ABC-Schutzmaske eingeführt worden.

Bei unseren Untersuchungen wurden zunächst Blutgaswerte, Pulsfrequenzen, Blutdruckwerte, Lungenvolumina, Lungenzeitvolumina und die Resistance in Ruhe bestimmt. Weiterhin führten wir ansteigende Arbeitsbelastungen bis zur vita maxima und dann eine Dauerbelastungsprüfung in hohen Bereichen durch. Besonders die letzteren hohen Belastungsuntersuchungen sahen wir für notwendig an, da große Leistungen in der Arbeitswelt, z.B. bei der Unfallrettung und bei der Truppe in der Gefechtsausbildung verlangt werden. Einschränkung gilt jedoch für die Anforderungen an den Arbeitsplätzen der modernen Industrie, daß in der Regel hohe Belastungsbereiche aufgrund

von Mechanisierung und Automation eine nicht mehr so bedeut-
same Rolle spielen.

Die vorstehenden Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammen-
fassen:

Bei den Ruheuntersuchungen zeigten sich keine Auswirkungen
der ABC-Schutzmaske auf Blutgase, Pulsfrequenzen, Blutdruck,
Vitalkapazität und Atemstoßwert. - Demgegenüber reduzierte
sich der Atemgrenzwert signifikant unter ABC-Schutzmaske. Da-
bei war bei gleich hoher Atemfrequenz das Atemvolumen signi-
fikanter verringert und zeitlich der inspiratorische Anteil jedes
Atemzuges aufgrund des Masken-/Filterwiderstandes gering er-
höht.

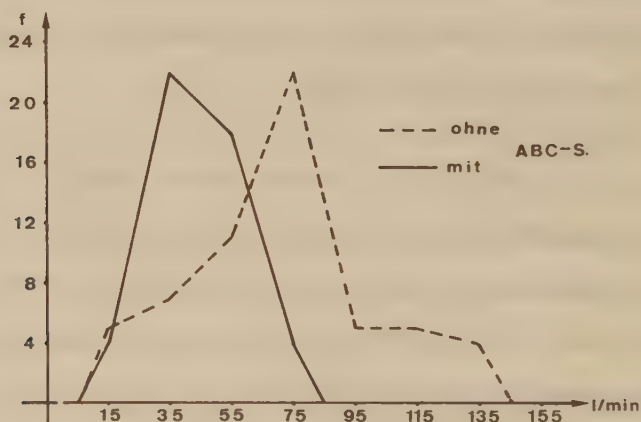


Abbildung Nr. 21

Häufigkeitspolygone der Atemgrenzwerte von 49 Probanden ohne und
mit ABC-Schutzmaske.

Die ganzkörperplethysmographischen Untersuchungen erbrachten bei allen Probanden eine signifikante Erhöhung der inspiratorischen Resistance.

Bei ansteigender Belastung waren die korrespondierenden Blutgaswerte, Pulsfrequenzen, Blutdruckwerte, Atemminutenvolumina und die Leistungsdauer nicht signifikant voneinander verschieden.

Hingegen ergab der Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme im steady state der jeweils letzten Arbeitsminute einen hochsignifikanten Unterschied von etwa 0,3 l. Darüber hinaus konnte bei der Auswertung der Spirogramme eine mit der Leistungssteigerung zunehmende Verlängerung des Inspiriums festgestellt werden.

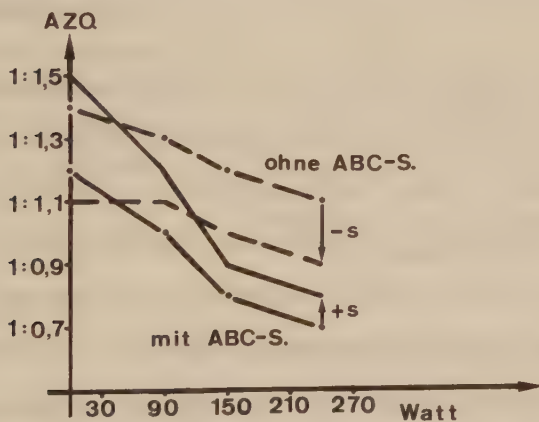


Abbildung Nr. 22

Atemzeitquotient bei ansteigender Belastung von 90 Watt bis 210/240 Watt, bei einer minütlichen Steigerung von 30 Watt.

Die hohe Dauerbelastung erbrachte bei den Blutgaswerten, Pulsfrequenzen und Blutdruckwerten keine Unterschiede. - Jedoch waren die Atemminutenvolumina etwa um 42 l/Min., die maximale Sauerstoffaufnahme etwa um 0,7 l und die Leistungsdauer um mehr als 50 % unter ABC-Schutzmaske verringert.

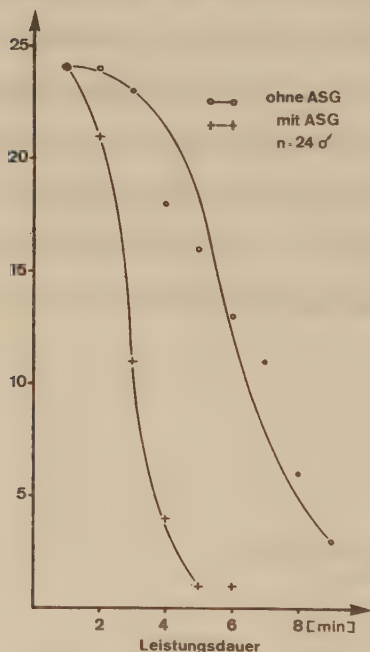


Abbildung Nr. 23

Vergleich der Leistungsdauer von 24 Probanden bei Dauerbelastung von 210 Watt (ab 7. Min. 240 Watt).

Die Ergebnisse sind wie folgt zu deuten:

Die Ganzkoerperplethysmographie ist eine derart empfindliche Untersuchungsmethode, daß schon in Ruhe eine signifikante inspiratorische Resistanceerhöhung bei allen Probanden unter ABC-Schutzmaske gefunden wurde. Hierbei hatte ein Fünftel Werte über 6 cmH₂O/l/sec. Eine derartige Resistance wird klinisch bei einer mittelschweren Obstruktion des Atemtraktes gefunden. - Bei

der Prüfung des Atemgrenzwertes zeigte die schnelle und flache Maskenatmung der Probanden, daß bei willentlicher Hyperventilation in Ruhe unter Zuhilfenahme der auxiliären Atemmuskulatur und auf Kosten der Atemtiefe kurzfristig der inspiratorische Maskenwiderstand überwunden werden konnte. Die Maske behinderte eine einmalige tiefe Inspiration sowie ein anschließendes schnelles Ausatmen nicht.

Bei den Belastungsuntersuchungen traten mit zunehmender Arbeit die atmungslimitierenden Maskeneffekte hervor. Die Untersucher beobachteten während der schnellen und kräftigen Ventilation in der vita maxima ein Flottieren des Maskenkörpers im Bereiche der Atemventile im Atemrythmus. Dabei wurde im Inspirium der Maskeninnenrahmen angesaugt und behinderte nach Angaben der Probanden die Nasenatmung.

Dieser technische Maskeneffekt wirkte sich bei ansteigender Belastung noch nicht auf das Atemminutenvolumen aus. Jedoch konnte unter der ABC-Schutzmaske zusammen mit der verringerten maximalen Sauerstoffaufnahme eine mit der Arbeitsleistung sich steigende Verlängerung des Inspiriums nachgewiesen werden. Als Erklärung liegt nahe, daß die ABC-Schutzmaske in der vita maxima die Ausschöpfungszeit des mit der Luft ventilierten Sauerstoff einschränkte. Weiterhin brachen die Probanden unter ABC-Schutzmaske vor allem wegen der verringerten Sauerstoffaufnahme ab der Leistungsstufe von 180 Watt die Arbeit früher ab, wenn auch insgesamt für diese Belastungsuntersuchung die Leistungsdauer nicht signifikant verschied-

den war.

Demgegenüber zeigte die hohe Dauerbelastung eine hochsignifikante Verringerung der Ventilationsgrößen und der Leistungsdauer. Bei 17 % der Probanden reduzierte die ABC-Schutzmaske das Atemminutenvolumen um 75 % und die maximal aufgenommene Sauerstoffmenge um 60 % ihrer entsprechenden Werte bei freier Atmung. Gleichzeitig beschränkte sie bei dieser körperlichen Schwerarbeit weitgehend unabhängig vom Ermüdungszustand von 80 % der Probanden (s. Abbildung Nr. 19) die Leistungsdauer auf 1,5 bis 3,5 Minuten, gegenüber einer mittleren Arbeitszeit aller Probanden von 5,9 Minuten bei unbehinderter Atmung.

Die Blutgas- und Blutdruckwerte konnten aus technischen Gründen erst einige Sekunden nach Arbeitsabbruch bestimmt werden. Diese kurzfristige "Erholungsphase" von bis zu 15 Sekunden reichte aus, um die zu erwartenden Maskeneffekte auf diese Meßgrößen aufzuheben. Die Pulsfrequenzen wichen innerhalb jeder Belastungsart kaum voneinander ab.

Der Vergleich der gefundenen Meßwerte ergibt eine Erhöhung vor allem des inspiratorischen Atemwiderstandes durch die technischen Eigenschaften der ABC-Schutzmaske. Dabei ließ sie unabhängig von der geforderten Arbeit bei den Belastungsuntersuchungen eine Ventilation und eine maximale Sauerstoffaufnahme nur bis zu einem niedrigsten Grenzwert zu (s. Tabelle 11).

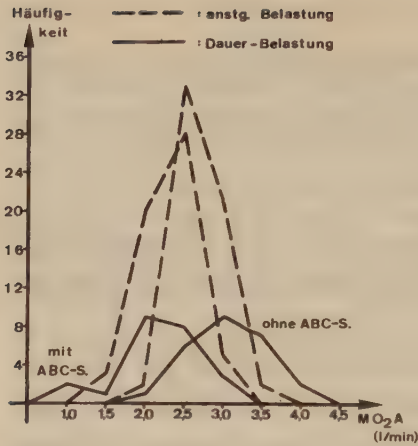
Tabelle 11:

Gegenüberstellung einiger Ventilationsgrößen und der Leistungsdauer in der vita maxima bei ansteigender konstanter Belastung.

Belastung	ABC-S.	MO ₂ A (l/min)		AMV (l/min)		AV (l)		AF (Anz./min)		Leistungsdauer (min)	
		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
anstei- gend	n	61	60	61	60	61	60	61	60	61	60
	m	2,85	2,54	59,9	59,3	2,15	2,35	29	26	5,5	5,2
	s ₋ ⁺	0,34	0,39	13,3	10,9	0,40	0,45	8,3	6,5	0,7	0,7
	p	< 0,001		> 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05	
kon- stant	n	25	23	25	23	25	23	25	23	23	23
	m	3,16	2,45	103,3	59,4	2,40	2,15	43	27	5,9	2,7
	s ₋ ⁺	0,6	0,5	26,4	22,6	0,37	0,36	8,5	7,7	2,2	1,2
	p	< 0,001		< 0,001		< 0,05		< 0,001		< 0,001	
	p	< 0,01	> 0,55	< 0,001	> 0,05	< 0,01	> 0,05	< 0,001	> 0,05	> 0,05	< 0,001

Dieser Grenzwert erstreckte sich für das Atemminutenvolumen bis etwa 100 l/Min. und für die maximale Sauerstoffaufnahme bis etwa 3,5 l gegenüber den entsprechenden Werten bei maskenfreier Atmung bis etwa 150 l/Min. und 4,5 l/Min.

Abbildung Nr. 24



Häufigkeitspolygone der maximalen Sauerstoffaufnahme bei fahrradergometrischer ansteigender Belastung und hoher Dauerbelastung.

Anzahl der Probanden:

ansteigender Bel.: = 60

Dauerbelastung: = 23

Die Pulsfrequenzen bei Dauerbelastung lagen über jenen bei ansteigender Belastung, was als Ausdruck der verschiedenen schweren Arbeit zu werten war. (Blutgas- und Blutdruckwerte können, wie oben erwähnt, nicht zum Vergleich herangezogen werden.)

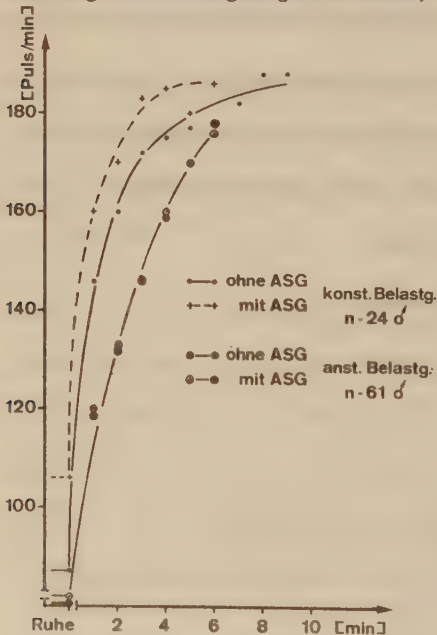


Abbildung Nr. 25

Verhalten der Pulsfrequenzen während fahrradergometrischer ansteigender Belastung und hoher konstanter Belastung.

Außerdem sah man unter Berücksichtigung der Leistungsdauer, daß mit einer Pulsfrequenz von etwa 200/Min. z. B. 56 % der Probanden unter ABC-Schutzmaske gegenüber nur 9 % ohne ABC-Schutzmaske die Dauerbelastungsuntersuchungen abbrachen (s. Abbildung Nr. 14).

Die bei der ansteigenden Belastung statistisch noch nicht zusichern- de Leistungsverminderung unter ABC-Schutzmaske war während der hohen Dauerbelastung signifikant verringert. Dabei wurde unter ABC-Schutzmaske nur von einem Probanden die durchschnittliche Leistungsdauer der unbehinderten Atmung erreicht.

In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, daß ein Fünftel der Probanden trotz eines allgemein guten Gesundheitszustandes in der Resistance, den Ventilationsgrößen und der Leistungsdauer so geringe Werte erreichte, daß sie als maskenuntauglich betrachtet werden müssen. Demgegenüber erwies sich die gleiche Anzahl von Probanden als gut maskentauglich, da sie bezüglich der freien Atmung nur relativ gering durch die ABC-Schutzmaske behindert wurden.

In der jüngeren Literatur finden sich folgende Ergebnisse:

Auf eigene und allgemeine Erfahrungen und Beobachtungen stützen sich im Hinblick auf den Arbeitsschutz in bestimmten Industriezweigen Ehrlicher (1961), Worth (1961), Weichardt (1963) und Wittgens (1963).

Diese Autoren lehnen übereinstimmend das Tragen von Filterschutzmasken bei Schwerarbeit für die Dauer einer Arbeitsschicht wegen

der damit verbundenen großen Atemeinschränkung ab.

Um eine Objektivierung und quantitative Erfassung der Einschränkung von Atmung und Leistung bemühten sich Millahn und Eckermann (1964) sowie Muhar und Lempert (1966). Ihre Ergebnisse bestätigten durchweg eine maskenbedingte Ventilations- und Leistungsbehinderung bei Arbeit.

Hierbei bestimmten Millahn und Eckermann mit verschiedenen Atemwiderständen den Energieverbrauch der Atmung und kamen zu folgendem Resultat: "Bei Behinderung der Atmung steigt der Sauerstoffverbrauch der Atmung an, bei inspiratorischer Behinderung stärker als bei expiratorischer Behinderung. Bei körperlichen Höchstleistungen und bei Ventilationsstörungen wird der Energieverbrauch der Atmung zu einem indirekt atmungsregulierenden Faktor." -

Wie oben besprochen, stieg bei den von uns durchgeführten Belastungsuntersuchungen mit der erhöhten Ventilation in der vita maxima der Atemwiderstand der ABC-Schutzmaske; seine Überwindung bedeutete eine Mehrarbeit und damit einen Sauerstoffmehrverbrauch der Atemmuskulatur. Hinzu kam eine durch die ABC-Schutzmaske bis zu einem individuell verschiedenen Grenzwert eingeschränkte Ventilation und maximale Sauerstoffaufnahme. Eine Leistungssteigerung bzw. eine hohe Dauerleistung ist unter ABC-Schutzmaske demnach nur bis zu dem Punkt möglich, wo der Sauerstoffverbrauch für die äußere Arbeit den der Atemmuskulatur nicht beeinträchtigt.

Wird durch schwere körperliche Arbeit diese Grenze überschritten, so ist unter ABC-Schutzmaske eine Erholung selbst bei sofortiger Einstellung der Belastung wegen der weiterhin bestehenden Atemarbeit (= Hyperventilation) gegen den Maskenwiderstand kaum bzw. nur langsam möglich.

Eine alleinige Erklärung der Leistungsminderung durch den Sauerstoffmeherverbrauch der Atmung bzw. durch die Einschränkung der maximalen Sauerstoffaufnahme in der vita maxima unter ABC-Schutzmaske ist jedoch arbeitsmedizinisch unbefriedigend. Ebenso wird im Hinblick auf eine Maskeneignung, wie die beschriebenen Untersuchungen beweisen, die Verwendung rein technischer Filterprüfungen (Zobel und Drasche) als unzureichend betrachtet.

Oesophagusdruckmessungen von Muhar und Lempert bei Arbeitern von Staubbetrieben mit nur geringen Aufbraucherscheinungen der Atemorgane ergaben eine deutliche subjektive und objektive Behinderung der Atmung bei Ventilation unter einer Feinstaubmaske. Der als gering bezeichnete Atemwiderstand dieser Halbmaske betrug im kontinuierlichen Luftstrom von 30 l/Min. für das Inspirium 4,1 mmWS. Die fahrradergometrische Tretkurbelarbeit war auf 50 Watt beschränkt. Dieses Ergebnis ist insofern überraschend, da nach den eigenen Untersuchungen in diesem niedrigen Belastungsbereich und bei dem etwa viermal höheren inspiratorischen ABC-Filterwiderstand keine signifikanten Unterschiede der ventilatorischen Funktionsgrößen oder der Leistung zu erwarten sind.

Im Vergleich zu den hier referierten Publikationen wurde der Versuch unternommen, die Auswirkungen einer Schutzmaske umfassend darzustellen. Neben den verschiedenen Lungenfunktionsprüfungen in Ruhe wurden bei ansteigender und hoher konstanter Belastung vergleichend mit und ohne ABC-Schutzmaske ergospirographische, blutanalytische und cardiovasculäre Untersuchungen durchgeführt. Es zeigte sich, daß erst in den hohen Belastungsstufen die Auswirkungen eines Atemfiltergerätes vollständig abgeklärt werden können.

In diesem Zusammenhang ist neben der weiteren technischen Vervollkommnung von Atemschutzmasken eine Prüfung auf Maskentauglichkeit des hierfür in Betracht kommenden Personenkreises zu erwägen. Als Prüfkriterien kommen entsprechend den derzeitigen Untersuchungsmöglichkeiten vor allem Ganzkörperplethysmographie, Ergospirographie sowie die Messung von Pulsfrequenz und Blutdruck als cardiovasculäre Funktionsgrößen in Betracht.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei 97 gesunden 20 bis 24 Jahre alten Soldaten wurden die funktionanalytischen Auswirkungen einer heute gebräuchlichen ABC-Schutzmaske auf Atmung, Gasstoffwechsel, Kreislauf und körperlicher Leistungsfähigkeit geprüft. Hierzu wurden ganzkörperplethysmographische, ergospirographische, blutgasanalytische und cardiovascular Untersuchungen ohne und mit ABC-Schutzmaske unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

- Ruhe
- ansteigende Belastung am Tretkurbelergometer von 90 Watt bis maximal 240 Watt, bei einer minütlichen Steigerung von 30 Watt
- Dauerbelastung am Tretkurbelergometer von 210 Watt, ab der 7. Min. 240 Watt.

Alle Meßgrößen wurden statistisch bearbeitet und die gemachten Aussagen abgesichert.

Die ganzkörperplethysmographischen Resistance-Bestimmungen in Ruhe zeigten besonders für das Inspirium einen hochsignifikanten Unterschied zwischen freier und ABC-Schutzmasken-Atmung. Bei einem Fünftel aller Probanden lag unter ABC-Schutzmaske der inspiratorische Atemwegswiderstand in einem Bereich, der klinisch einer mittelschweren Obstruktion entspricht.

Bei Belastung unter ABC-Schutzmaske bis zur vita maxima ergaben sowohl die subjektiven Angaben der Probanden und die Beobachtungen der Untersucher als auch die objektiven Befunde der Ergospiro-

graphie vor allem eine Behinderung des Inspiriums und eine Limitierung von Atemminutenvolumen, maximaler Sauerstoffaufnahme und Leistungsdauer. Ein Fünftel der Maskenträger war auf Grund seiner eingeschränkten Ventilation und Leistung für körperliche Schwerarbeit maskenuntauglich.

Die Ergebnisse lassen vermuten, daß von Faktoren wie Adaption, Übung oder Verbesserung des allgemeinen Trainingszustandes keine wesentliche Leistungssteigerung zu erwarten ist. Die Masken wirken auf Ventilation, maximale Sauerstoffaufnahme und Leistungsdauer in höheren Arbeitsbereichen limitierend.

Anhang, Teil I:

=====

Statistische Begriffe und deren Symbole, Definitionen.

Die in dieser Arbeit verwendeten statistischen Begriffe werden hier alphabetisch aufgeführt und kurz erläutert. Die mathematischen Symbole dieser Begriffe stimmen mit jenen aus dem englischen Sprachraum weitgehend überein und wurden in Klammer hinter den jeweiligen Begriff gesetzt.

Allgemein werden die sich auf eine Stichprobe beziehenden Grössen mit kleinen Buchstaben bezeichnet. Mit großen (oder mit griechischen) Buchstaben werden Größen aus Populationen beschrieben. Auf die Wiedergabe synonyme Symbole wurde jedoch verzichtet.

B

- Besetzungszahl (i) Syn. Frequenz; sie gibt an, wieviele Grössen einer Stichprobe den gleichen Wert haben.
- Bevölkerung (p): Syn. Population

D

- Diagramm: Graphische Darstellung einer Stichprobe/Population in einem Koordinatensystem.

E

- Einzelwert (x): Bezeichnung für eine Grösse in einer Stichprobe; x ist mit einem Index versehen.

F

- Freiheitsgrad (n) "eines Systems von Grössen ist die Anzahl Grössen, über die frei verfügt werden kann, ohne daß die anderen (= restlichen) Grössen zwangsläufig daraus folgen" (Th. Reich).

Anhang, Teil I/2:
=====

- Frequenz (f): Syn. Besetzungszahl; auch allgemein im Sinne von "Häufigkeit" gebraucht.

G

- Glockenkurve: graphische Darstellung einer theoretisch zu erwartenden Population einer Stichprobe.
- Größe: Syn. Messung, Zahlenwert, Meßwert;

H

- Häufigkeitspolygon: Syn. Frequenzpolygon; Diagramm einer Stichprobe, wobei auf der Abszisse die Meßwerte und auf der Ordinate die Besetzungszahlen abgetragen werden; ihre Schnittpunkte sind durch Gerade verbunden.
- Häufigkeitsverteilung: Diskussion einer Stichprobe bezüglich gehäuft auftretender Werte
- Histogramm: = Säulendiagramm, dem Häufigkeitspolygon ähnlich, die Besetzungszahlen der einzelnen Meßwerte werden als Säulen dargestellt.

I

- Index: nähere Bezeichnung eines mathematischen Symbol; gibt die Zugehörigkeit einer Größe an.

K

- Klasse: Bezeichnung für jede Größe der Merkmalskala einer Tabelle; die Größen selbst stellen auf- bzw. abgerundete Werte dar
(0,5 = 1,0)
- Kolonne: Senkrechte Spalte einer Tabelle

Anhang, Teil I/3:

=====

M

- Merkmal: Bezeichnung für das, was getestet wurde (z.B. AMV, AGW)
- Median: wahrer Mittelwert einer Stichprobe, meist als bestimmter Abszissenwert einer Glockenkurve verstanden. Das im Median errichtete Lot teilt die Glockenkurve in zwei flächengleiche Hälften.
- Mittel (m): arithmetisches Mittel einer Stichprobe; m ist mit einem Index versehen.
- Mittelwert: bei Glockenkurven der Fußpunkt des Gipfelpunktes.

N

- Nullhypothese: "Alle statistischen Tests beruhen auf dem grundlegenden Prinzip, eine unbekannte Bevölkerung aus der die Stichprobe entstammt, mit einer bekannten oder hypothetischen Bevölkerung zu vergleichen. Dabei können mit exakter Wahrscheinlichkeit nur Unterschiede, nicht aber Übereinstimmungen zwischen den verglichenen Bevölkerungen festgestellt werden". (Geigy)
"Die Hypothese, die der Stichprobe entstammende Bevölkerung (P_1) stimme mit der hypothetischen (P_0) überein, nennt man Nullhypothese. $P_1 = P_0$; $P_1 - P_0 = 0$ " (Geigy).
- Normierung: Meßwerte in ein bestimmtes unabhängiges mathematisches System bringen; z.B. Logarithmieren der Meßwerte einer Stichprobe.
- Number (n): Summe der Messungen/Zählungen einer Stichprobe;

n ist mit einem Index versehen, n auch Freiheitsgrad.

P

- Population (P): Syn. Bevölkerung; Bezeichnung für ein Kollektiv, aus dem die Stichprobe entnommen wurde bzw. zu dem die Population gehört. Die hypothetische Population ist die Summe aller in ihr enthaltenen Populationen. P wird mit einem Index versehen.

Beispiel:

Die für diese Arbeit getesteten Probanden sind zwischen 20 und 23,5 Jahre alt, sie ergeben die Stichprobe p.

Diese Stichprobe gehört der Population P_1 "junge Männer" an.

Die hypothetische Population- P_O wäre alle Männer bzw. alle Menschen.

Hieraus erklärt sich, daß statistisch die Übereinstimmung zwischen Populationen P_1 und hypothetischer Population P_O nicht festgestellt werden können (Vergl. Nullhypothese).

- Proband: Versuchsperson.

R

- Regression; lineare: Vergleichende Darstellung von Variablen, zwischen denen lineare funktionelle Beziehung bestehen. Hierbei ergibt die graphische Darstellung mittels eines Ordinatensystems eine Gerade (= Regressions-Gerade), die durch die Schwerpunkte aller im Ordinatensystem eingetragenen Werte geht.
- Regressionskoeffizient (b): "Steigung der Regressionsgeraden" (Th. Reich).

Anhang, Teil I/5:
=====

S

- Schiefe: Eigenschaft einer schiefen Glockenkurve (= "Gaußsche Normalverteilung II. Ordnung", Th. Reich). Ihr Verlauf ist durch einen steilen und einen flachen Ast charakterisiert. Bei positiver Schiefe verläuft die Kurve links steil und rechts flach, ihr Gipfelpunkt ist links vom Median; ihr Spiegelbild hat eine negative Schiefe.
- Signifikanz: Bezeichnung für den Grad eines Unterschiedes von Stichproben bzw. Populationen. Von Th. Reich und Geigy wird für biologische Tests eine Übereinstimmung der verglichenen Stichproben bis zu $p = 0,05 = 5\%$ gestattet, um einen signifikanten Unterschied noch feststellen zu können.
- Signifikantsschranke: Festsetzung der Signifikanz. Bei Überschreitung von $p = 0,05 = 5\%$ kann die Nullhypothese nicht verworfen werden, d.h. der Unterschied der verglichenen Stichproben bezüglich eines biologischen Tests ist statistisch nicht gesichert.
- Stichprobe (p): Untersuchungsgut, das aus einer Population entnommen wurde. Bei jeder statistischen Berechnung müssen die verglichenen Stichproben "repräsentativ" sein, d.h. sie dürfen nicht in sich aus verschiedenen Populationen stammen.

Beispiel:

In der vorliegenden Arbeit stellt das Untersuchungsgut = die Probanden eine repräsentative Stichprobe dar. Es stimmen überein: das Geschlecht, das Alter, der Gesundheits- und Trainingszustand, der E Z und A Z, die derzeitige Tätigkeit, ja selbst das Essen und

das Verhältnis von Arbeitszeit zu Ruhezeit.

- Streuung (s): Syn. Standard Deviation; sie errechnet sich aus der Wurzel der Varianz. Bei Glockenkurven ist die Streuung ein Maß für deren Breite.
- Streuwert: ungültiger, nicht in die jeweilige statistische Berechnung einbezogener Meßwert einer Stichprobe.

Beispiel:

Während mancher Belastungsversuche stellten sich Mängel im luftdichten Sitz der ABC-Schutzmaske heraus, oder, mancher Proband war nicht voll leistungswillig und brach von sich aus den Versuch vorzeitig ab. Die so gewonnenen Meßwerte = Streuwerte sind unbrauchbar.

T

- Test: Syn. Versuch, auch als mathematischer Begriff in der statistischen Auswertung angewendet.
- Transformation: Normierung von Stichproben mit dem Ziele, diese vergleichbar zu machen.

V

- Variable: veränderlicher Wert eines getesteten Merkmales. In Tabellen sind die Variablen die Größen der Merkmalskala, in graphischen Darstellungen sind die Variablen in der Regel auf der Abszisse abgetragen.
- Varianz: (s^2): Bezeichnung für die Summe der Streuungsquadrate der Differenzen zwischen allen Einzelwerten und dem entsprechen-

den Mittelwert einer Stichprobe.

- Verteilung: Lage der Einzelwerte einer Stichprobe.

Normalverteilung = symmetrische Verteilung der Einzelwerte um den Mittelwert; bei normalen Glockenkurven (= Gaußsche Glockenkurve, - Verteilung nach Student) ist der Mittelwert = der Median.

Diskrete Verteilung = Verteilung der Einzelwerte um den Mittelwert ungleich; bei schiefen Glockenkurven ist der Mittelwert = dem Median.

- Vertrauensbereich (auch Mutungsbereich): Bereich, in dem sich die Werte einer Stichprobe bewegen dürfen, um noch zur Stichprobe/Population der Stichprobe gezählt werden zu können. Der Vertrauensbereich wird durch Signifikanzschranken begrenzt.
- Verwerfen: statistischer Begriff für "ausschließen". Die Nullhypothese muß verworfen werden, um einen signifikanten Unterschied von verglichenen Stichproben/Populationen feststellen zu können.

W

- Wahrscheinlichkeit (P): Syn. Probabilité;

In der Statistik können Unterschiede nur bis zu einem Grenzwert festgestellt werden; somit sind alle statistischen Werte nur wahrscheinlich. Der Grad der Wahrscheinlichkeit wird mit dem Betrag von p oder in Prozent angegeben.

- Werte: Syn. Meß-/Zählergebnis, statistisch errechnete Größe. Man unterscheidet statistisch gesicherte und statistisch wahrscheinliche Werte, dabei ist je nach Lehrbuch: $P=0,05$. Ein "empirischer Wert" ist ein Einzelwert einer Stichprobe = ein durch Messung/Zählung gefundener.

Anhang, Teil II/1:

=====

Tabellen der Einzelwerte mit Mittel und Streuung.

(BZ = Besetzungszahl)

<u>Alter:</u>	<u>Größe:</u>	<u>Gewicht:</u>
n = 90	n = 97	n = 95
m = 21,9 J.	m = 176 cm	m = 72,520 kg
s = $\pm$ 1,58 J.	s = $\pm$ 5,06 cm	s = $\pm$ 7,340 kg

<u>Alter in J. / BZ</u>		<u>Größe in cm / BZ</u>		<u>Gewicht in kg / BZ</u>	
19,50	2	166	1	58	4
19,75	4	167	3	60	4
20,00	7	168	7	62	9
20,25	7	169	5	64	4
20,50	3	170	6	66	7
20,75	6	171	4	68	5
21,00	8	172	4	70	9
21,25	3	173	7	72	15
21,50	4	174	4	74	7
21,75	14	175	4	76	6
22,00	4	176	7	78	7
22,25	1	177	5	80	8
22,50	1	178	8	82	4
22,75	5	179	6	84	4
23,00	2	180	12	86	2
23,25	1	181	1		
23,50	1	182	4		
23,75	6	183	5		
24,00	1	184	1		
24,25	1	185	3		
24,50	2				
24,75	1				
25,00	5				
25,25	1				

Anhang, Teil II/2:

=====

Blutdruckwerte (RR) in Ruhe - ohne ABC-Schutzmaske:

$n_{\text{syst.}} = 88$

$m = 137,44/89,1 \text{ mmHg}$

$s = \pm 10,1/8,8 \text{ mmHg}$

$n_{\text{diast.}} = 88$

RR_{syst.} in mmHg/ BZ

RR_{diast.} in mmHg/ BZ

120 14

70 7

130 26

80 23

140 31

90 37

150 13

100 20

160 4

110 1

Pulsfrequenz vor anstg. Belastung
ohne ABC-Schutzmaske

Pulsfrequenz vor anstg. Belastung
mit ABC-Schutzmaske

$n = 61$

$n = 59$

$m = 82,786/\text{Min.}$

$m = 81,900/\text{Min.}$

$s = \pm 13,539/\text{Min.}$

$s = \pm 14,663/\text{Min.}$

Anz./Min. BZ

Anz./Min. BZ

60 1

60 4

65 4

65 3

70 6

70 8

75 9

75 6

80 4

80 10

85 11

85 3

90 8

90 8

95 4

95 7

100 6

100 1

105 5

105 1

110 1

110 2

Anhang, Teil II/3:
=====

Pulsfrequenz vor Dauerbelastung ohne ABC-Schutzmaske	Pulsfrequenz vor Dauerbelastung mit ABC-Schutzmaske
---	--

n = 25

m = 86,56

s = $\pm$ 13,34

n = 24

m = 105,92

s = $\pm$ 10,04

Anz./Min.	BZ
60	1
65	1
70	2
75	2
80	2
85	5
90	4
95	4
100	2
105	1
110	0
115	0
120	0
125	0
130	1

Anz./Min.	BZ
90	2
95	2
100	9
105	4
110	3
115	1
120	2
125	1

Anhang, Teil II/4:
=====

Blutdruckwerte (RR) sofort nach ansteigender Belastung unter
ABC-Schutzmaske

$n_{\text{syst.}} = 60$

$n_{\text{diast.}} = 60$

$m = 222,66/74,83 \text{ mmHg}$

$s = \pm 21,54/12,85 \text{ mmHg}$

$RR_{\text{syst.}}$	in mmHg/ BZ	$RR_{\text{diast.}}$	in mmHg/ BZ
170	1	60	12
180	3	70	20
190	8	80	17
200	8	90	7
210	8	100	1
220	8	110	2
230	6	120	1
240	9		
250	5		
260	4		

Blutdruckwerte (RR) sofort nach Dauerbelastung ohne ABC-Schutzmaske

$n_{\text{syst.}} = 25$

$n_{\text{diast.}} = 25$

$m = 218,3/70,2 \text{ mmHg}$

$s = \pm 21,4/10,8 \text{ mmHg}$

$RR_{\text{syst.}}$	in mmHg/ BZ	$RR_{\text{diast.}}$	in mmHg/ BZ
180	1	50	1
190	2	60	8
200	4	70	10
210	6	80	3
220	4	90	3
230	2		
240	3		
250	1		
260	2		

Anhang, Teil II/5:

=====

Blutdruckwerte (RR) sofort nach Dauerbelastung unter ABC-

Schutzmaske

$n_{\text{syst.}} = 23$

$m = 216,1 / 80,2 \text{ mmHg}$

$s = \pm 19,1 / 13,7 \text{ mmHg}$

$n_{\text{diast.}} = 23$

RR_{syst.} in mmHg / BZ

170 2

180 1

190 1

200 4

210 2

220 6

230 5

240 2

RR_{diast.} in mmHg / BZ

60 4

70 6

80 5

90 6

100 1

110 1

Blutdruckwerte (RR) sofort nach ansteigender Belastung ohne

ABC-Schutzmaske

$n_{\text{syst.}} = 61$

$m = 210,49 / 72,66 \text{ mmHg}$

$s = \pm 19,44 / 14,12 \text{ mmHg}$

$n_{\text{diast.}} = 61$

RR_{syst.} in mmHg / BZ

170 3

180 2

190 11

200 10

210 12

220 6

230 7

240 8

250 2

RR_{diast.} in mmHg / BZ

40 2

50 4

60 12

70 20

80 9

90 12

100 2

Anhang, Teil II/6:

=====

pH-Werte in Ruhe, vor
anst. Belastung -
ohne ABC-Schutzmaske

n = 61
m = 7,397
s = $\pm 0,064$

pH / BZ

7,23	3
7,25	0
7,27	2
7,29	0
7,31	2
7,33	2
7,35	2
7,37	2
7,39	5
7,41	18
7,43	11
7,45	12
7,47	2

pH-Werte sofort
nach anst. Belastung
ohne ABC-Schutzmaske

n = 61
m = 7,398
s = 0,065

pH / BZ

7,23	2
7,25	1
7,27	2
7,29	3
7,31	4
7,33	1
7,35	1
7,37	4
7,39	8
7,41	9
7,43	9
7,45	15
7,47	2

pH-Werte sofort
nach anst. Belastung
mit ABC-Schutzmaske

n = 60
m = 7,404
s = 0,066

pH / BZ

7,25	1
7,27	2
7,29	3
7,31	3
7,33	1
7,35	3
7,37	5
7,39	5
7,41	9
7,43	6
7,45	12
7,47	10

pH-Werte in Ruhe, vor
Dauerbelastung
ohne ABC-Schutzmaske

n = 25
m = 7,45
s = $\pm 0,01$

pH / BZ

7,42	1
7,43	5
7,44	9
7,45	8
7,46	2

pH-Werte sofort
nach Dauerbelastung
ohne ABC-Schutzmaske

n = 25
m = 7,46
s = $\pm 0,04$

pH / BZ

7,44	2
7,45	13
7,46	6
7,47	3
7,48	0
7,49	1

pH-Werte sofort
nach Dauerbelastung
mit ABC-Schutzmaske

n = 23
m = 7,4589
s = $\pm 0,04$

pH / BZ

7,43	1
7,44	1
7,45	11
7,46	8
7,47	2

Anhang, Teil II/7:

=====

pO ₂ in Ruhe, vor ansteigender Belastung ohne ABC-Schutzmaske	pO _s sofort nach ansteigender Belastung	pO ₂ sofort nach ansteigender Belastung mit ABC-Schutzmaske
--	---	--

n = 61

n = 61

n = 60

m = 94,50torr

m = 92,47torr

m = 91,53torr

s = $\pm 3,382$ torr

s = $\pm 3,24$ torr

s = $\pm 3,28$ torr

pO₂ in torr / BZ

pO₂ in torr / BZ

pO₂ in torr / BZ

89 3

87 1

87 1

90 3

88 4

88 5

91 3

89 4

89 5

92 9

90 7

90 6

93 1

91 2

91 4

94 8

92 14

92 16

95 3

93 9

93 8

96 17

94 5

94 4

97 7

95 7

95 8

98 5

96 5

96 1

99 2

97 1

97 2

98 2

pO₂ in Ruhe, vor
Dauerbelastung
ohne ABC-Schutzmaske

pO₂ sofort nach
Dauerbelastung

pO₂ sofort nach
Dauerbelastung
mit ABC-Schutzmaske

n = 25

n = 25

n = 23

m = 96,018torr

m = 94,00torr

m = 92,60torr

s = $\pm 1,007$ torr

s = $\pm 0,97$ torr

s = $\pm 1,27$ torr

pO₂ in torr / BZ

pO₂ in torr / BZ

pO₂ in torr / BZ

93 1

92 3

90 2

94 1

93 3

91 1

95 6

94 10

92 10

96 10

95 8

93 2

97 6

96 1

94 6

98 1

95 2

Anhnag, Teil II/8:

=====

pCO ₂ sofort nach Dauerbelastung <u>ohne ABC-Schutzmaske</u>	pCO ₂ in Ruhe vor Dauerbelastung	pCO ₂ sofort nach Dauerbelastung <u>mit ABC-Schutzmaske</u>
---	--	--

n = 25	n = 25	n = 23
m = 36,49 torr	m = 35,800torr	m = 36,66 torr
s = ± 0,88 torr	s = ± 0,992torr	s = ± 0,78 torr

<u>pCO₂ in torr / BZ</u>		<u>pCO₂ in torr / BZ</u>		<u>pCO₂ in torr / BZ</u>	
35,0	2	32,5	1	35,5	1
35,5	0	33,0	0	36,0	4
36,0	2	33,5	0	36,5	5
36,5	7	34,0	0	37,0	10
37,0	13	34,5	2	37,5	3
37,5	1	35,0	1		
		35,5	5		
		36,0	9		
		36,5	5		
		37,0	2		

pCO ₂ in Ruhe vor anst. Belastung <u>ohne ABC-Schutzmaske</u>	pCO ₂ sofort nach anst. Belastung	pCO ₂ sofort nach anst. Belastung <u>mit ABC-Schutzmaske</u>
--	---	---

n = 61	n = 61	n = 60
m = 35,936 torr	m = 36,398 torr	m = 36,796 torr
s = ± 1,803 torr	s = ± 1,925 torr	s = ± 2,081 torr

<u>pCO₂ in torr / BZ</u>		<u>pCO₂ in torr / BZ</u>		<u>pCO₂ in torr / BZ</u>	
32,0	2	32,0	2	33,5	2
32,5	2	32,5	2	34,0	4
33,0	1	33,0	1	34,5	3
33,5	2	33,5	1	35,0	3
34,0	2	34,0	3	35,5	1
34,5	3	34,5	4	36,0	5
35,0	6	35,0	2	36,5	3
35,5	1	35,5	0	37,0	10
36,0	15	36,0	8	37,5	3
36,5	10	36,5	8	38,0	15
37,0	4	37,0	9	38,5	2
37,5	4	37,5	1	39,0	9
38,0	5	38,0	14		
38,5	3	38,5	2		
39,0	1	39,0	3		
		39,5	1		

Anhang, Teil II/9:

=====

Vitalkapazität (VK) ohne ABC-Schutzmaske

n = 60
m = 5,124 l
s = $\pm 0,675$ l

VK in l / BZ

3,5	1
4,0	11
4,5	13
5,0	18
5,5	11
6,0	4
6,5	2

Atemstoßwert (AST) in % der VK ohne ABC-Schutzmaske

n = 60
m = 82,42 %
s = $\pm 9,8$ %

AST in % der VK / BZ

55	1
60	3
65	4
70	3
75	10
80	12
85	15
90	8
95	2
100	2

Vitalkapazität (VK) mit ABC-Schutzmaske

n = 60
m = 5,092 l
s = $\pm 0,665$ l

VK in l / BZ

3,5	1
4,0	12
4,5	15
5,0	16
5,5	10
6,0	5
6,5	1

Atemstoßwert in % der VK mit ABC-Schutzmaske

n = 60
m = 83,84 %
s = $\pm 9,48$ %

AST in % der VK / BZ

55	1
60	1
65	2
70	3
75	12
80	12
85	12
90	10
95	5
100	2

Anhang, Teil II/10:

=====

Atemgrenzwert (AGW) -
ohne ABC-Schutzmaske

n = 49

m = 77,060 l/min

s = $\pm 37,641$ l/min

Atemgrenzwert (AGW) -
mit ABC-Schutzmaske

n = 49

m = 49,360 l/min

s = $\pm 15,412$ l/min

<u>AGW in l/min</u>	<u>B Z</u>
20 (85)	1 (2)
25 (90)	4 (2)
30 (95)	2 (1)
35 (100)	2 (1)
40 (105)	2 (1)
45 (110)	1 (2)
50 (115)	2 (1)
55 (120)	3 (1)
60 (125)	4 (1)
65 (130)	2 (2)
70 (135)	1 (1)
75 (140)	5 (1)
80	4

<u>AGW in l/min</u>	<u>B Z</u>
20	2
25	2
30	6
35	3
40	8
45	6
50	5
55	3
60	8
65	2
70	2
75	1
80	1

Anhang, Teil II/11:

=====

Atemfrequenz des Atemgrenzwertes

(= AF_{AGW}) - ohne
ABC-Schutzmaske

n = 49

m = 52,81 Atemzüge/min

s = $\pm 19,15$ Atemzüge/min

AF_{AGW}	B Z
------------	-----

25	4
----	---

30	8
----	---

35	5
----	---

40	5
----	---

45	1
----	---

50	4
----	---

55	5
----	---

60	4
----	---

65	4
----	---

70	2
----	---

75	1
----	---

80	1
----	---

85	3
----	---

90	2
----	---

Atemfrequenz des Atemgrenzwertes

(= AF_{AGW}) - mit
ABC-Schutzmaske

n = 49

m = 49,5 Atemzüge/min

s = $\pm 18,25$ Atemzüge/min

AF_{AGW}	B Z
------------	-----

25	7
----	---

30	7
----	---

35	5
----	---

40	5
----	---

45	4
----	---

50	2
----	---

55	2
----	---

60	3
----	---

65	7
----	---

70	1
----	---

75	2
----	---

80	1
----	---

85	1
----	---

90	1
----	---

95	1
----	---

Anhang , Teil II/12:

=====

Atemvolumen des Atemgrenzwertes Atemvolumen des Atemgrenzwertes

(= AV_{AGW} - ohne ABC-Schutzmaske (= AV_{AGW} - mit ABC-Schutzmaske

n = 49

m = 1,503 l/Atemzug

s = $\pm 0,472$ l/Atemzug

n = 49

m = 1,1397 l/Atemzug

s = $\pm 0,269$ l/Atemzug

AV_{AGW} in l B Z

0,7 3

0,8 1

0,9 4

1,0 3

1,1 2

1,2 4

1,3 6

1,4 4

1,5 2

1,6 7

1,7 2

1,8 1

1,9 1

2,0 3

2,1 1

2,2 1

2,3 1

2,4 1

2,5 2

AV_{AGW} in l B Z

0,5 1

0,6 5

0,7 6

0,8 2

0,9 3

1,0 6

1,1 5

1,2 4

1,3 1

1,4 5

1,5 8

1,6 3

Anhang, Teil II/13:

=====

Atemminutenvolumen (AMV), anst. Atemminutenvolumen (AMV), anst.

Belastung - ohne ABC-Schutzmaske Belastung - mit ABC-Schutzmaske

n = 61

m = 59,919 l/min

s = $\pm$ 13,279 l/min

n = 60

m = 59,34 l/min

s = $\pm$ 10,949 l/min

Das AMV bei ansteigender Belastung wurde im Bereich von 180 Watt bis einschl. 210 Watt (= 3. bis einschl. 4. Arbeits-Min) ausgewertet.

<u>AMV in l/min</u>	<u>B Z</u>	<u>AMV in l/min</u>	<u>B Z</u>
40	4	40	1
42	1	42	1
44	4	44	1
46	1	46	5
48	6	48	4
50	5	50	3
52	1	52	1
54	2	54	7
56	4	56	5
58	7	58	5
60	5	60	3
62	3	62	3
64	1	64	3
66	2	66	3
68	3	68	2
70	2	70	3
72	3	72	3
74	3	74	1
76	1	76	2
78	1	78	1
80	1	80	3
82	1		

Atemfrequenz des Atemminuten- Atemfrequenz des Atemminuten-
volumens (AF_{AMV}), anst. Belastung volumens (AF_{AMV}), anst. Belastung
ohne ABC-Schutzmaske mit ABC-Schutzmaske

$n = 61$
 $m = 29,06$ Atemzüge/min
 $s = \pm 8,25$ Atemzüge/min

$n = 60$
 $m = 25,98$ Atemzüge/min
 $s = \pm 6,48$ Atemzüge/min

AF_{AMV}	B Z
16	1
18	4
20	6
22	5
24	6
26	4
28	4
30	6
32	7
34	6
36	6
38	3
40	1
42	2

AF_{AMV}	B Z
16	2
18	5
20	5
22	9
24	7
26	10
28	6
30	7
32	3
34	2
36	1
38	2
40	1

Atemvolumen des Atemminuten- Atemvolumen des Atemminuten-
volumens (AV_{AMV}), anst. Belastung volumens (AV_{AMV}), anst. Belastung
ohne ABC-Schutzmaske mit ABC-Schutzmaske

$n = 61$
 $m = 2,146$ l/Atemzug
 $s = \pm 0,38$ l/Atemzug

$n = 60$
 $m = 2,353$ l/Atemzug
 $s = \pm 0,451$ l/Atemzug

AV_{AMV} in l	B Z
1,4	2
1,5	1
1,6	3
1,7	5
1,8	4
1,9	5
2,0	8
2,1	3
2,2	12
2,3	6
2,4	5
2,5	1
2,6	2
2,7	1
2,8	1
2,9	1
3,0	1

AV_{AMV} in l	B Z
1,6	1
1,7	2
1,8	7
1,9	5
2,0	3
2,1	4
2,2	6
2,3	8
2,4	5
2,5	5
2,6	4
2,7	4
2,8	3
2,9	2
3,0	1

Atemminutenvolumen (AMV), <u>Dauerbelastung - ohne ABC-Schutz-</u> <u>maske</u>	Atemminutenvolumen (AMV), <u>Dauerbelastung - mit ABC-Schutzmaske</u>
---	--

n = 25

m = 103,331 l/min

s = $\pm 26,441$ l/min

n = 23

m = 59,395 l/min

s = $\pm 22,594$ l/min

Das AMV bei Dauerbelastung wurde in der letzten Arbeitsminute des jeweiligen Versuches ausgewertet.

<u>AMV in l/min</u>	<u>B Z</u>	<u>AMV in l/min</u>	<u>B Z</u>
70	2	30	6
80	3	40	4
90	8	50	1
100	1	60	3
110	7	70	4
120	1	80	4
130	2	90	1
140	1		

Atemfrequenz des Atemminuten- volumens (AF_{AMV}), Dauerbelastung <u>ohne ABC-Schutzmaske</u>	Atemfrequenz des Atemminuten- volumens (AF_{AMV}), Dauerbelastung <u>mit ABC-Schutzmaske</u>
---	--

n = 25

m = 42,81 Atemzüge/min

s = $\pm 8,53$ Atemzüge/min

n = 23

m = 27,200 Atemzüge/min

s = $\pm 7,695$ Atemzüge/min

<u>AF_{AMV}</u>	<u>B Z</u>	<u>AF_{AMV}</u>	<u>B Z</u>
32	1	14	2
35	4	17	4
38	5	20	1
41	7	23	3
44	1	26	3
47	2	29	4
50	4	32	5
53	1	35	1

Anhang, Teil II/16:

=====

Atemvolumen des Atemminuten- volumens (AV_{AMV}), Dauerbelastung ohne ABC-Schutzmaske	Atemvolumen des Atemminuten- volumens (AV_{AMV}), Dauerbelastung mit ABC-Schutzmaske
---	--

$$n = 25$$

$$m = 2,404 \text{ l/Atemzug}$$

$$s = \pm 0,369 \text{ l/Atemzug}$$

$$n = 23$$

$$m = 2,150 \text{ l/Atemzug}$$

$$s = \pm 0,362 \text{ l/Atemzug}$$

AV_{AMV} in l	B Z
18	1
20	2
22	10
24	5
26	3
28	2
30	1
32	1

AV_{AMV} in l	B Z
14	1
16	2
18	1
20	6
22	2
24	7
26	1
28	2

Anhang, Teil II/17:

=====

Maximale Sauerstoffaufnahme (MO_2A) Maximale Sauerstoffaufnahme (MO_2A)

am Ende der anst. Arbeitsbelastung
ohne ABC-Schutzmaske

am Ende der anst. Arbeitsbelastung
mit ABC-Schutzmaske

$$n = 61$$

$$m = 2,846 \text{ l/min}$$

$$s = \pm 0,342 \text{ l/min}$$

$$n = 60$$

$$m = 2,540 \text{ l/min}$$

$$s = \pm 0,386 \text{ l/min}$$

MO_2A in l/min B Z

2,0 (3,2) 2 (4)

2,1 (3,3) 1 (2)

2,2 (3,4) 0 (2)

2,3 (3,5) 2 (2)

3,4 1

2,5 4

2,6 9

2,7 5

2,8 5

2,9 9

3,0 7

3,1 6

MO_2A in l/min B Z

1,9 3

2,0 4

2,1 2

2,2 3

2,3 5

2,4 6

2,5 13

2,6 4

2,7 5

2,8 7

2,9 3

3,0 5

Maximale Sauerstoffaufnahme (MO_2A) Maximale Sauerstoffaufnahme (MO_2A)

am Ende der Dauerbelastung
ohne ABC-Schutzmaske

am Ende der Dauerbelastung
mit ABC-Schutzmaske

$$n = 25$$

$$m = 3,162 \text{ l/min}$$

$$s = \pm 0,569 \text{ l/min}$$

$$n = 23$$

$$m = 2,453 \text{ l/min}$$

$$s = \pm 0,467 \text{ l/min}$$

O_2 max in l/min B Z

2,0 1

2,5 6

3,0 9

3,5 7

4,0 1

4,5 1

O_2 max in l/min B Z

1,0 2

1,5 1

2,0 9

2,5 8

3,0 2

3,5 1

Anhang, Teil II/18:

=====

Atemzeitquotient (AZQ) in Ruhe
ohne ABC-Schutzmaske, Zeit des
Inspiriums = 1 gesetzt

n = 50

m = 1 : 1,397

s = 1 : (1,397 ± 0,33)

AZQ	BZ
1 : 0,9	2
1 : 1,0	4
1 : 1,1	4
1 : 1,2	6
1 : 1,3	10
1 : 1,4	5
1 : 1,5	6
1 : 1,6	3
1 : 1,7	3
1 : 1,8	3
1 : 1,9	1
1 : 2,0	2
1 : 2,1	1

Atemzeitquotient (AZQ) in Ruhe
mit ABC-Schutzmaske, Zeit des
Inspiriums = 1 gesetzt

n = 50

m = 1 : 1,169

s = 1 : (1,169 ± 0,254)

AZQ	BZ
1 : 0,7	2
1 : 0,8	3
1 : 0,9	1
1 : 1,0	7
1 : 1,1	15
1 : 1,2	11
1 : 1,3	7
1 : 1,4	2
1 : 1,5	2

Atemzeitquotient (AZQ) bei 90 Watt
ohne ABC-Schutzmaske, Zeit des
Inspiriums = 1 gesetzt

n = 11

m = 1 : 1,286

s = 1 : (1,286 ± 0,206)

AZQ _{90W}	BZ
1 : 1,0	3
1 : 1,1	2
1 : 1,2	1
1 : 1,3	1
1 : 1,4	2
1 : 1,5	1
1 : 1,6	1

Atemzeitquotient (AZQ) bei 90 Watt
mit ABC-Schutzmaske, Zeit des
Inspiriums = 1 gesetzt

n = 11

m = 1 : 0,954

s = 1 : (0,974 ± 0,188)

AZQ _{90W}	BZ
1 : 0,7	1
1 : 0,8	2
1 : 0,9	2
1 : 1,0	4
1 : 1,1	1
1 : 1,2	0
1 : 1,3	1

Anhang, Teil II/19:

=====

Atemzeitquotient (AZQ) bei 150 Watt
ohne ABC-Schutzmaske, Zeit des
Inspiriums = 1 gesetzt

$$n = 11$$

$$m = 1 : 1,18$$

$$s = 1 : (1,22 \pm 0,2185)$$

AZQ _{150W}	B Z
1 : 0,9	1
1 : 1,0	4
1 : 1,1	1
1 : 1,2	1
1 : 1,3	1
1 : 1,4	1
1 : 1,5	1
1 : 1,6	

Atemzeitquotient (AZQ) bei 150 Watt
mit ABC-Schutzmaske, Zeit des
Inspiriums = 1 gesetzt

$$n = 11$$

$$m = 1 : 0,788$$

$$s = 1 : (0,788 \pm 0,125)$$

AZQ _{150W}	B Z
1 : 0,5	1
1 : 0,6	1
1 : 0,7	3
1 : 0,8	4
1 : 0,9	1
1 : 1,0	1

Atemzeitquotient (AZQ) am Ende
der Belastung (etwa 240 W)
ohne ABC-Schutzmaske, Zeit des
Inspiriums = 1 gesetzt

$$n = 11$$

$$m = 1 : 1,009$$

$$s = 1 : (1,009 \pm 0,170)$$

AZQ _{240W}	B Z
1 : 0,7	1
1 : 0,8	1
1 : 0,9	1
1 : 1,0	4
1 : 1,1	2
1 : 1,2	1
1 : 1,3	1

Atemzeitquotient (AZQ) am Ende
der Belastung (etwa 210 W)
mit ABC-Schutzmaske, Zeit des
Inspiriums = 1 gesetzt

$$n = 11$$

$$m = 1 : 0,654$$

$$s = 1 : (0,654 \pm 0,128)$$

AZQ _{210W}	B Z
1 : 0,5	3
1 : 0,6	2
1 : 0,7	4
1 : 0,8	1
1 : 0,9	1

Anhang, Teil II/20:

=====

Atemzeitquotient des Atemgrenzwertes (AZQ _{AGW}), ohne ABC-Schutzmaske	Atemzeitquotient des Atemgrenzwertes (AZQ _{AGW}), mit ABC-Schutzmaske
Zeit des Inspiriums = 1 gesetzt	Zeit des Inspiriums = 1 gesetzt

$$n = 49$$

$$m = 1 : 1,0$$

$$s = 1 : (1,0 \pm 0,075)$$

$$n = 49$$

$$m = 1 : 0,87$$

$$s = 1 : (0,87 \pm 0,13)$$

AZQ _{AGW}	BZ
1 : 0,70	1
1 : 0,75	1
1 : 0,80	2
1 : 0,85	3
1 : 0,90	5
1 : 0,95	3
1 : 1,00	31
1 : 1,05	2
1 : 1,10	1

AZQ _{AGW}	BZ
1 : 0,50	1
1 : 0,55	2
1 : 0,60	2
1 : 0,65	1
1 : 0,70	3
1 : 0,75	4
1 : 0,80	6
1 : 0,85	7
1 : 0,90	6
1 : 0,95	5
1 : 1,00	12

Ganzkörperplethysmographische Werte ohne und mit ABC-Schutzmaske.

Voraussetzungen:

- Ruheatmung im Takt eines Metronoms: 30 Atemexkursionen/min
- Temperatur der Atemluft : 38°C
- Feuchtigkeit der Atemluft : 98 %
- jeder tabellarische Einzelwert des Druckströmungs-Diagrammes eines Probanden besteht aus dem arithmetischen Mittel von insgesamt 10 bis 20 aufgezeichneten Diagrammen.
- jeder tabellarische Einzelwert der Verschlußdruckkurve eines Probanden besteht aus dem arithmetischen Mittel von insgesamt 4 bis 6 endexpiratorischen Verschlußdruckkurven.

R_t = gesamte Resistance ohne ABC-Schutzmaske

$n = 104$

$m = 0,81 \text{ cmH}_2\text{O/l/sec}$

$s = \pm 0,40 \text{ cmH}_2\text{O/l/sec}$

R_{tiM} = inspiratorische Resistance mit ABC-Schutzmaske

$n = 104$

$m = 4,70 \text{ cmH}_2\text{O/l/sec}$

$s = \pm 1,35 \text{ cmH}_2\text{O/l/sec}$

R_{teM} = expiratorische Resistance mit ABC-Schutzmaske

$n = 104$

$m = 1,455 \text{ cmH}_2\text{O/l/sec}$

$s = \pm 0,68 \text{ cmH}_2\text{O/l/sec}$

ΔP_{AO} = in-/expiratorische Alveolar-Druckdifferenz bei Strömungs-Null ohne ABC-Schutzmaske.

$n = 104$

$m = 0,4779 \text{ cmH}_2\text{O}$

$s = \pm 0,48 \text{ cmH}_2\text{O}$

R_t in	B Z	R_{tex} in	BZ	R_{tin} in	B Z
$\text{cmH}_2\text{O}/1/\text{sec}$		$\text{cmH}_2\text{O}/1/\text{sec}$		$\text{cmH}_2\text{O}/1/\text{sec}$	
0,0	0	0,0	1	2,4	2
0,1	3	0,2	2	2,6	1
0,2	5	0,4	5	2,8	1
0,3	8	0,6	7	3,0	3
0,4	9	0,8	10	3,2	3
0,5	7	1,0	16	3,4	8
0,6	16	1,2	14	3,6	6
0,7	6	1,4	13	3,8	13
0,8	12	1,6	9	4,0	6
0,9	6	1,8	8	4,2	7
1,0	10	2,0	1	4,4	8
1,1	6	2,2	5	4,6	3
1,2	3	2,4	4	4,8	9
1,3	2	2,6	2	5,0	3
1,4	3	2,8	3	5,2	1
1,5	0	3,0	2	5,4	3
1,6	1	3,2	0	5,6	3
1,7	3	3,4	1	5,8	2
1,8	0			6,0	1
1,9	1			6,2	1
2,0	0			6,4	3
2,1	1			6,6	2
				6,8	0
				7,0	0
				7,2	4
				7,4	1
				7,6	1
				7,8	0
				8,0	0
				8,2	0
				8,4	2
				8,6	1

ΔP_{AO} ohne	B Z
ABC-Schutz m.	
in cmH_2O	
0,0	{1,0} 30(3)
0,1	{1,1} 13(3)
0,2	{1,2} 7(2)
0,3	{1,3} 9(1)
0,4	{1,4} 9(1)
0,5	{1,5} 5(1)
0,6	{1,6} 5(2)
0,7	{1,7} 5(1)
0,8	{1,8} 2(0)
0,9	{1,9} 3(1)
	{2,0} (0)
	{2,1} (0)
	{2,2} (1)

Anhang, Teil II/23:

=====

Ganzkörperplethysmographische Einzelwerte ohne ABC-Schutzmaske.

Nr. des Probanden	m-Verschluß- druckkurven in °	m - R _t in °	m - ΔP _{AO} in mm	R _t in cmH ₂ O/l/ sec	ΔP _{AO} in cmH ₂ O
13/1	40,3	85,4	4,0	0,4	0,7
14/7	44,8	87,6	4,5	0,2	0,6
15/7	52,7	87,0	5,6	0,2	1,1
16/7	33,4	81,7	3,5	0,6	0,1
17/3	38,5	79,0	2,0	1,2	0,1
18/3	40,5	84,5	4,0	0,5	0,4
19/3	30,6	83,3	4,0	0,4	0,2
20/3	32,1	80,7	6,0	0,7	0,5
21/3	40,5	84,2	5,0	0,6	0,6
22/3	46,1	81,8	5,7	1,2	0,9
23/3	54,3	82,1	5,0	1,6	1,1
25/1	40,8	81,5	4,0	1,0	0,4
24/1	53,7	86,4	7,5	0,5	1,7
26/3	62,3	88,6	6,5	0,1	2,2
27/3	51,5	89,8	9,0	0,1	1,9
28/5	45,2	86,0	3,0	0,4	0,3
29/4	47,5	82,1	2,5	1,2	0,2
30/5	51,1	87,7	4,5	0,2	0,9
32/5	53,0	85,4	3,5	0,8	0,7
33/5	46,8	83,3	2,5	1,0	0,2
34/5	38,1	83,1	1,5	0,6	0,0
36/5	41,7	82,6	1,5	0,8	0,0
38/5	38,4	84,0	2,5	0,5	0,1
39/5	45,6	85,9	1,5	0,4	0,1
40/1	41,0	81,8	3,5	1,0	0,3
41/5	40,8	79,7	11,0	1,3	1,6
42/5	30,5	80,2	6,0	0,7	0,4
43/5	40,8	75,7	4,0	1,9	0,4
44/5	33,0	85,4	5,5	0,3	0,4
45/5	41,2	82,9	4,0	0,8	0,4
46/5	41,0	84,2	2,0	0,6	0,1
47/5	37,0	77,4	5,0	1,4	0,5
48/5	31,4	81,6	3,0	0,6	0,1
49/5	42,5	81,5	1,0	1,0	0,0
50/5	45,2	86,9	8,0	0,3	1,6
51/5	37,9	83,1	1,0	0,6	0,0
52/5	51,0	85,2	2,5	0,8	0,3
53/5	37,0	80,6	2,5	0,9	0,1
54/5	40,3	84,9	1,5	0,5	0,0
57/8	42,3	83,0	1,0	0,8	1,1
58/8	42,2	82,1	1,0	0,9	0,0

Ganzkörperplethysmographische Einzelwerte ohne ABC-Schutzmaske

Nr. des Probanden	m-Verschluß- druckkurven in °	m - R_t in °	m - ΔP_{AO} in mm	R_t in cmH ₂ O/ 1/sec	ΔP_{AO} in cmH ₂ O
59/8	36,4	83,2	1,0	0,6	0,0
60/1	49,2	84,8	1,0	0,8	0,0
61/5	39,3	80,7	6,0	1,0	0,7
63/4	36,6	83,3	1,0	0,6	0,0
64/1	34,2	78,2	4,0	1,1	0,2
65/1	39,3	71,0	0,5	2,6	0,0
66/5	43,4	86,3	2,0	0,3	0,0
67/7	46,0	82,3	1,5	1,1	0,1
68/5	45,0	83,5	3,5	0,8	0,4
69/5	42,6	83,8	2,0	0,7	0,1
70/6	35,2	82,8	7,5	0,6	0,8
71/6	41,1	81,7	9,0	0,8	1,3
72/1	44,5	85,6	7,0	0,4	1,0
73/4	43,2	86,4	2,0	0,3	0,1
74/3	47,5	87,3	7,0	0,2	1,2
75/3	38,8	83,1	1,5	0,7	0,0
76/6	43,7	86,4	2,0	0,3	0,0
77/3	40,7	84,2	1,0	0,6	0,0
78/3	43,2	79,7	3,5	1,4	0,3
79/1	40,7	81,2	2,5	1,0	0,2
80/3	37,0	82,7	1,0	0,6	0,0
81/6	32,9	83,8	1,0	0,4	0,0
82/1	38,1	80,6	1,0	1,0	0,0
83/3	39,1	79,4	2,0	1,2	0,1
84/4	37,7	84,7	8,5	0,4	1,0
85/6	31,5	80,9	1,5	0,7	0,0
86/3	35,9	81,0	4,0	0,9	0,3
87/4	44,6	84,0	4,5	0,8	0,6
88/6	34,5	82,6	1,5	0,6	0,0
89/6	31,0	81,1	1,5	0,6	0,0
90/6	45,9	82,5	4,5	6,0	0,6
91/6	43,6	85,5	3,5	0,5	0,3
94/6	5,5	76,6	3,5	2,7	0,6
95/4	45,8	82,9	1,5	1,0	0,0
96/7	26,4	81,4	3,0	0,8	0,2
97/7	34,4	82,4	4,5	0,6	0,3
98/4	50,9	84,3	1,5	0,9	0,1
99/6	48,8	87,5	3,5	0,2	0,5
100/3	40,4	86,6	7,0	0,3	0,9
101/7	36,0	85,3	10,0	0,3	1,2
102/8	52,6	85,6	6,5	0,7	1,4
103/6	41,9	80,2	1,5	1,3	0,0
104/7	32,7	83,3	7,5	0,5	0,7
105/7	36,3	77,1	3,0	1,4	0,1
106/5	41,7	85,1	4,0	0,5	0,4

Anhang, Teil II/25:

=====

Ganzkörperplethysmographische Einzelwerte ohne ABC-Schutzmaske

Nr. des Probanden	m-Verschluß- druckkurven in °	m - R _t in °	m - ΔP_{AO} in mm	R _t in cmH ₂ O/ l/sec	ΔP_{AO} in cmH ₂ O
107/5	43,1	83,6	4,5	0,8	0,5
108/7	43,1	81,0	6,0	1,2	0,8
109/7	43,9	83,1	2,0	0,9	0,0
110/7	43,2	83,0	1,0	0,9	0,0
111/7	44,5	76,0	1,0	2,1	0,0
112/3	42,4	78,3	2,5	1,7	0,2
113/3	33,6	78,2	1,0	1,1	0,0
114/3	43,9	78,3	3,0	1,7	0,0
115/5	35,4	82,3	3,0	0,6	0,3
116/6	33,9	84,3	5,5	0,4	0,4
121/3	41,0	84,0	1,0	0,6	0,0
152/1	40,1	81,0	3,5	1,0	0,3
153/1	37,4	85,6	8,5	0,3	1,0
154/1	40,0	82,6	1,0	0,8	0,0
155/1	36,4	85,1	7,0	0,4	0,7
156/1	26,5	73,7	2,5	1,1	0,0
157/1	46,2	79,2	3,5	1,7	0,5

Anhang, Teil II/26:

=====

Ganzkörperplethysmographische Einzelwerte unter ABC-Schutzmaske

Nr. des Probanden	m-Verschluß- druckkurven	m - Insp. in °	m - Exp. in °	R _{teM} in cmH ₂ O/l/sec.	R _{tiM}
13/2	40,3 - 5,0	62,2	79,0	1,0	3,4
14/8	44,8 - 2,0	70,4	86,1	1,5	4,5
15/8	52,7 - 6,0	58,0	83,2	1,5	6,5
16/8	33,4 - 3,0	59,2	75,4	1,2	3,1
17/4	38,5 - 4,0	55,8	72,0	1,9	4,4
18/4	40,5 - 4,0	58,5	78,8	1,1	4,3
19/4	30,6 - 3,1	48,8	79,1	0,7	4,3
20/4	32,1 - 3,1	55,0	70,2	1,7	3,6
21/4	40,5 - 4,0	44,8	77,3	1,3	7,2
22/4	46,1 - 6,0	27,0	75,5	1,9	16,3
23/4	54,3 - 11,0	66,3	82,5	0,8	3,8
24/2	53,7 - 9,0	62,0	77,4	0,3	4,5
25/2	40,8 - 4,5	56,6	85,3	1,9	4,9
26/4	62,3 - 8,0	74,6	85,1	0,8	3,5
27/4	51,5 - 6,0	71,0	87,1	0,3	3,3
28/6	45,2 - 6,0	58,0	88,0	0,1	4,9
29/5	47,5 - 7,0	58,6	71,2	2,6	4,9
30/6	51,1 - 6,5	73,0	85,2	0,5	2,6
32/6	53,0 - 7,0	67,0	83,3	0,9	3,9
33/6	46,8 - 7,0	60,3	75,2	1,7	3,5
34/6	83,1 - 4,0	60,6	80,8	0,9	3,6
36/6	41,7 - 5,0	62,3	78,1	1,5	3,9
38/6	38,4 - 4,4	49,2	76,1	1,3	5,5
39/6	45,6 - 9,0	58,2	78,3	1,4	4,8
40/2	41,0 - 4,5	63,2	79,8	1,1	3,5
41/6	40,8 - 5,0	56,7	72,7	1,9	4,4
42/6	30,5 - 2,5	34,4	76,0	1,1	7,3
43/6	40,8 - 5,0	57,9	74,8	1,6	6,0
44/6	33,0 - 3,4	64,5	81,2	0,5	2,4
45/6	41,2 - 5,0	48,1	77,8	1,3	6,3
46/6	41,0 - 4,5	61,0	78,0	1,3	3,9
47/6	37,0 - 4,0	57,0	76,3	1,3	4,0
48/6	31,4 - 5,0	42,8	74,0	1,1	2,9
49/6	42,5 - 5,0	52,0	68,6	2,8	5,4
50/6	45,2 - 6,0	67,1	84,3	0,6	3,2
51/6	37,9 - 4,0	58,7	73,5	1,7	3,8
52/6	51,0 - 6,0	61,9	75,0	2,4	5,1
53/6	37,4 - 4,0	55,9	70,3	1,9	4,1
54/6	40,3 - 5,0	56,1	79,0	1,1	4,5
57/9	42,3 - 4,3	59,4	81,4	0,9	4,3
58/9	42,2 - 4,2	57,0	79,2	1,2	4,8
59/9	36,4 - 4,0	46,7	68,0	2,3	5,7

Anhang, Teil II, 27:

=====

Ganzkörperplethysmographische Einzelwerte unter ABC-Schutzmaske

Nr. des Probanden	m - Verschuß- druckkurven in °	m - Insp. in °	m - Exsp. in °	R _{teM} in cmH ₂ O/l/sec	R _{tiM}
60/2	49,2 - 6,0	66,3	78,7	1,6	3,8
61/6	39,3 - 6,0	56,6	77,4	1,1	4,0
63/5	36,6 - 8,0	56,0	74,7	1,2	3,4
64/2	34,2 - 4,0	49,2	73,8	0,4	4,7
64/6	41,8 - 5,0	31,0	74,8	1,7	12,1
65/2	39,3 - 4,3	38,9	57,4	4,3	8,5
66/6	43,4 - 5,0	46,4	72,3	2,4	7,2
67/8	46,0 - 5,5	62,0	77,3	1,4	4,3
68/6	45,0 - 6,0	58,3	77,6	1,5	4,7
69/6	42,6 - 5,6	66,2	80,6	0,9	3,0
70/7	35,2 - 4,0	57,0	82,0	0,6	3,7
71/7	41,1 - 5,0	56,6	80,0	1,0	4,6
72/2	44,5 - 5,5	34,8	68,8	2,9	11,3
73/5	43,2 - 6,2	61,6	81,7	0,8	3,8
74/4	47,5 - 5,5	63,2	78,0	1,5	4,3
75/4	38,8 - 4,0	62,1	79,0	1,0	3,3
76/7	43,7 - 6,7	69,5	80,3	0,9	2,5
77/4	40,7 - 5,2	60,2	82,3	0,9	3,8
78/4	43,2 - 5,2	55,2	79,8	1,1	5,1
79/2	40,7 - 4,2	55,2	84,0	0,5	4,9
80/4	37,0 - 5,0	52,8	71,3	1,9	4,5
81/7	32,9 - 2,9	74,3	76,7	1,1	1,3
82/2	38,1 - 4,1	40,5	75,9	1,4	7,7
83/4	39,1 - 5,1	60,2	69,4	2,3	3,6
84/5	37,7 - 4,7	54,0	72,8	1,7	4,4
85/7	31,5 - 3,5	52,8	80,3	0,7	3,8
86/4	35,9 - 3,4	58,3	76,9	1,2	3,7
87/5	44,6 - 5,6	50,1	73,8	2,1	6,5
88/7	34,5 - 4,0	52,9	77,4	1,0	4,1
89/7	31,0 - 4,0	53,5	74,7	1,0	3,4
90/7	45,9 - 5,9	57,9	73,0	2,3	5,1
91/7	43,6 - 4,6	63,1	82,1	0,9	3,8
94/7	51,5 - 6,0	48,7	71,2	3,1	8,5
95/5	45,8 - 5,3	61,5	81,1	1,0	4,3
96/8	36,4 - 5,0	51,6	69,7	1,9	4,5
97/8	34,4 - 3,4	57,1	77,6	1,0	3,6
98/5	50,9 - 5,9	51,8	73,7	2,7	7,5
99/7	48,8 - 6,3	67,7	84,9	0,6	3,5
100/4	40,4 - 3,4	60,9	76,7	1,5	4,0
101/8	46,0 - 4,0	56,7	76,4	1,3	3,9
102/9	52,6 - 6,0	63,8	80,7	1,3	4,9

Anhang. Teil II/28:

=====

Ganzkörperplethysmographische Einzelwerte unter ABC-Schutzmaske

Nr. des Probanden	m - Verschuß- druckkurven in °	m - Insp. in °	m - Exsp. in °	R _{teM} in cmH ₂ O/l/sec	R _{tiM}
103/7	41,9 - 5,0	24,4	63,0	3,5	16,1
104/8	37,2 - 3,4	43,7	64,9	2,4	5,6
105/8	36,3 - 3,5	35,3	72,2	1,7	8,7
106/6	41,7 - 4,7	51,0	76,7	1,5	5,9
107/6	43,1 - 5,1	48,1	67,4	2,9	6,7
108/8	43,1 - 4,5	55,1	77,0	1,4	4,9
109/8	43,9 - 5,9	61,6	79,9	1,1	3,9
110/8	43,2 - 5,0	54,2	71,9	2,3	5,4
111/8	44,5 - 6,0	55,2	76,0	1,7	5,3
112/4	42,4 - 6,0	65,4	78,7	1,2	3,1
113/4	33,6 - 3,6	54,7	73,8	1,4	3,8
114/4	43,9 - 5,2	53,0	70,4	2,3	5,7
115/6	35,4 - 4,0	58,1	82,5	0,5	3,5
116/7	33,9 - 3,0	40,4	64,1	2,5	6,7
121/4	41,0 - 4,5	53,4	82,0	0,7	7,2
152/2	40,1 - 5,1	56,1	77,2	1,3	6,4
153/2	37,4 - 4,0	56,4	81,4	0,7	4,1
154/2	40,0 - 5,0	20,0	65,5	3,0	19,0
155/2	36,4 - 4,0	51,4	71,2	1,8	4,8
156/2	26,5 - 2,5	44,7	69,8	1,4	4,3
157/2	46,2 - 5,2	63,2	80,1	1,2	3,9

Anleitung für das Lesen der Übersichtstafeln

1. Die Tafeln enthalten nur auf- / abgerundete Größen
2. Die Bezeichnung der Größen sind aus den Meßgrößen am Anfang jeder Spalte abzuleiten
3. In der Reihenfolge der Kolonnen bedeuten die Zeichen bzw. Zahlen:
 - a) "Messung"
Meßgröße, z.B. AZQ
 - b) "Verh."
- Ohne ABC-Schutzmaske = -, mit ABC-Schutzmaske = +;
dahinter steht die Anzahl der jeweiligen Probanden/Einzel-
messungen
z.B. - 49 = ohne ABC-Schutzmaske, 49 Einzelmessungen.
 - c) "m"
Mittel der Stichprobe
 - d) "s"
Streuung der Stichprobe
 - e) "Signifikanz"
Die mit + bezeichnete Spalte gibt den Betrag von p der ent-
sprechenden Kolonne an. Unbezeichnete (= offene) Spalten be-
deuten, daß in diesem Signifikanzbereich kein statistischer
Unterschied besteht.

Übersichtstafeln für die Ruhewerte.

Messung	Verh.	m	s ±	Signifikanz		
				bis 0,001	0,001 - 0,01	0,01 - 0,05
AZQ	- 50	1 : 1,4	0,3	+		
	+ 50	1 : 1,2	0,2			
AZQ _{AGW}	- 49	1 : 1,0	0,1	+		
	+ 49	1 : 0,9	0,1			
AGW	- 49	77	37	+		
	+ 49	49	15			
AF _{AGW}	- 49	53	19			
	+ 49	50	18			
AV _{AGW}	- 49	1,5	0,5	+		
	+ 49	1,1	0,3			
AST	- 60	82	9,8			
	+ 60	84	9,5			
VK	- 60	5,1	0,7			
	+ 60	5,1	0,7			
Resistance	R _t 102	0,8	0,4	+		
	R _{teM} 103	1,5	0,7			
Resistance	R _t 102	0,8	0,4	+		
	R _{tiM} 98	4,7	1,4			
Resistance	R _{teM} 103	1,5	0,7	+		
	R _{tiM} 98	4,7	1,4			
pH	- 61	7,4	0,06			
	+ 0	-	-			
pH-D	- 25	7,44	0,01			
	+ 0	-	-			
PCO ₂	- 61	35,94	1,80			
	+ 0	-	-			

Anhang, Teil III/2:

=====

Messung	Verh.		m	s ±	Signifikanz		
					bis 0,001	0,001- 0,01	0,01 0,05
pCO ₂ -D	- 25 + 0		35,80 -	0,99 -			
pO ₂	- 61 + 0		94,50 -	3,38 -			
pO ₂ -D	- 25 + 0		96,02 -	1,21 -			
RR	- 88 + 0		137/89 -	10/9 -			
Puls-F.	- 61 + 59		82 82	13,5 14,6			
Puls-F _r -D	- 25 + 24		87 106	13,3 10,0	+		
Alter		90	21/11	1/7			
Größe		97	1,76	0,05			
Gewicht		95	72,5	7,4			

Anhang, Teil III/3:
=====

Übersichtstafel für die Werte bei/sofort nach ansteigender Belastung

Messung	Verh.		m	s ±	Signifikanz		
					bis 0,001	0,001 - 0,01	0,01 - 0,05
AZQ bei 90 Watt	-	11	1 : 1,3	0,2	+		
	+	11	1 : 1,0	0,2			
AZQ bei 150 Watt	-	11	1 : 1,2	0,2	+		
	+	11	1 : 0,8	0,1			
AZQ bei 210/240 W.	-	11	1 : 1,0	0,2	+		
	+	11	1 : 0,7	0,1			
AMV	-	61	60	13			
	+	60	59	11			
AF _{AMV}	-	61	29	8,3			+
	+	60	26	6,5			
AV _{AMV}	-	61	2,1	0,4			+
	+	60	2,3	0,4			
MO ₂ A	-	61	2,8	0,3	+		
	+	60	2,5	0,4			
pH	-	61	7,4	0,07			
	+	60	7,4	0,07			
pCO ₂	-	61	36,4	1,9			
	+	60	36,8	2,0			
pO ₂	-	61	92,5	3,2			
	+	60	91,5	3,3			
RR syst./diast.	-	61	211/73	19/14	+		
	+	60	223/75	22/13			
Puls-F. bei 210 Watt = 5. Min.	-	54	170	16			
	+	47	170	13			

Anhang, Teil III/4:

=====

Übersichtstafel für die Werte bei/sofort nach Dauerbelastung

Messung	Verh.		m	s ±	Signifikanz.		
					bis 0,001	0,001- 0,01	0,01- 0,05
AMV	-	25	103	26	+		
	+	23	59	23			
AF _{AMV}	-	25	43	9	+		
	+	23	27	8			
AV _{AMV}	-	25	2,4	0,4	+		
	+	23	2,2	0,4			
MO ₂ A	-	25	3,2	0,6	+		
	+	23	2,4	0,5			
RR _{syst/diast.}	-	25	218/70	21/11		+	
	+	23	216/80	19/14			
Puls-F. in der 3. Min.	-	23	172	16			
	+	11	183	11			
pH	-	25	7,46	0,04			
	+	23	7,46	0,05			
pCO ₂	-	25	36,5	0,9			
	+	23	36,7	0,8			
pO ₂	-	25	94,0	1,0	+		
	+	23	92,60	1,3			

Anhang, Teil IV/-:

=====

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

Ahlert, A.

in: Handbuch d. ges. Arbeitsmed. 3: 489 - 490,
Verlag Urban und Schwarzenberg,
Berlin-München-Wien (1962)

Anthony, A.J., H. Venrath

Funktionsprüfung der Atmung.
Joh. Ambrosius Barth-Verlag,
Leipzig (1962)

Bachofen, H., M. Scherrer

Lungenfunktionsprüfung zur Erfassung des akuten
Anfalles von Asthma bronchiale.
Praxis 54: 1350 - 1360 (1965)

Bachofen, H.

Physiologie und Pathophysiologie der Lungen-
mechanik.
Beitr. Klin. Tuberk. 135: 145-160 (1967)

Bartels, H., E. Bücherl, C.W. Hertz, G. Rodenwald, M. Schwab

Lungenfunktionsprüfungen.
Springer-Verlag (1959)

Blumenthal, W.

Die Bedeutung der Plethysmographie für das Stu-
dium der Atemfunktion.
Z. ges. inn. Med. 9: 125 - 128 (1954)

Bolt, W.

Funktionsgrößen der Atmung. Nomenklatur und
Standardisierung, 62. Kongreß der Dtsch. Ges.
f. Inn. Med., Bergmann-Verlag, München (1965)

Bredley, J.J., J.N. McClelland

Grundlegende statistische Begriffe.
Huber-Verlag, Bern (1966)

Bundesminister f. Arbeit und Sozialordnung

Maximale Arbeitsplatzkonzentration von schädli-
chen Substanzen,
Ministerialblatt vom 31. 8. 1966.

Comroe, H.J.

Die Lunge, klinische Physiologie und Lungenfunktionsprüfungen.
Schättauer-Verlag, (1964)

Comroe, H.J., S.Y. Bothelho, A.B. DuBois

Design for a bodyplethysmograph for studying
cardiopulmonary physiology.
J. Appl. Physiol. 14: 3 (1959)

Cumming, G.

The Body Plethysmograph.
Postgrad. med. J., 37: 257-258 (1961)

Deutscher Ausschuß für Atemschutzgeräte

Merkblatt "Staubschutz".
Carl Heymann-Verlag, Köln (1957)

Dräger, H.

Bekämpfung der Silikose im Bergbau durch
Atemschutzgeräte.
Drägerhefte, 222: 4749 - 4755 (1952/53)

Drasche, H.

Über die Beziehung zwischen Arbeitsleistung,
Staubkonzentration und Atemwiderstand von
Staubmaskenfiltern unter Arbeitsplatzbedin-
gungen.
Zbl. Arbeits-Med. 12: 117 - 122 (1962)

DuBois, A.B., H.J. Comroe, S.Y. Bothelo, G.N. Bedell,
J.N. Marshall

A rapid Plethysmographic Method for Measuring
Thoracic Gas Volume: a Comparison with a nitro-
gen washout Method for Measuring functional re-
sidual Capacity in normal Subjects.
J. clin. Invest. 35: 322 - 326 (1956)

Ehrlicher, H.

Reizgasvergiftungen.
in: Handbuch d. ges. Arbeitsmed., 2/1: 339-371,
Verlag Urban und Schwarzenberg,
Berlin-München-Wien (1961)

Engelhard, K., K. Pütter

Der Einfluß von Einweg- und Zweiwegatmung
auf die Leistung von Atemfiltern.
Z. Elektrochem. und Phys. Chem., 38 (Berlin, 1932)

- Fieldner, A.C., S.H. Kats, J. Kirmey
Gasmasks for gases met in fighting fire.
US Bur. Mines. Techn. Paper 248: 61 (1921)
- Fleisch, A.
Le Pneumotachographe. Helvet. physiol. et
pharmacol. acta 14: 363 - 368 (1956)
- Geigy, J.R.
Documenta Geigy.
Wissenschaftliche Tabellen, 6. Auflage (1960)
- Gilchrist, H.J.
The residual effects of warfare gase II.
US -Government Printing Office, Washington (1933)
- Haase-Lampe, W.
Erfahrungen und Erkenntnisse bei der Ausbildung im Gebrauch atemschützender Geräte,
Gasschutz und Luftschutz, Berlin (1934)
- Hanslian, R.
Der chemische Krieg. 1 - 9, 187 - 235, 414 - 483.
Mittler und Sohn-Verlag, Berlin (1937)
- Haseloff, O.W., H.J. Hoffmann
Kleines Lehrbuch der Statistik.
Walter de Gruyter und Co., Berlin (1965)
- Helm, U.
Die Bedeutung des Atemminutenvolumens für das rechtzeitige Anlegen des Atemschutzes.
Wehrmedizin, 4, (1966)
- Jaeger, M.J.
Die Körperplethysmographie im Dienste der Lungenfunktionsprüfung.
Schweiz. Rundschau Med. 12: 430-433 (1964)
- Jaeger, M.J., A.B. Otis
Effects of compressibility of alveolar Gas on dynamics and work of breathing.
J. Appl. Physiol. 19: 83 - 91 (1964)
- Knipping, H.W., W. Bolt, H. Valentin, H. Venrath
Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken, 161 - 230, Enke-Verlag, Stuttgart, 2. Auflage (1960)

Koelsch, F.

in: Lehrbuch der Arbeitsmedizin, 198 - 201,
Enke-Verlag, Stuttgart, 4. Auflage (1963)

Koller, S.

Graphische Tafeln zur Beurteilung statisti-
scher Zahlen.
Steinkopf-Verlag, Dresden (1943)

Ludwig, W.

Stoffwechselsenkung unter Einatmungsstenose.
Arbeitsphysiol. 10: 406 - 417 (1939)

Maresch, F.

Zwei historische Wiener Arbeitsmuseen.
Sichere Arbeit, 3, (1966)

Mathes, H.U.

Die Bedeutung des Atemwiderstandes für die
Messung des respiratorischen Stoffwechsels.
Arbeitsphysiol. 11: 117 - 128 (1940)

Mellerowicz, H., H. Reindell, W. Hollmann, H. Mies,
H. Roskamm

Vorschläge zur Standardisierung der ergo-
metrischen Leistungsmessung.
Z. Kreisl.-Forsch. 50: 273 (1961)

Millahn, H.P., P. Eckermann

Der Energieverbrauch der Atmung.
Klin. Wschr. 15: 722 (1964)

Muhar, F., J. Lempert

Zur Objektivierung des Atemwiderstandes
beim Tragen von Staubmasken.
Mitt. Österr. San.Verw. 9: 222 (1966)

Muntsch, O.

Kampfstoffkrankungen, 4. Auflage,
Leipzig (1936)

Nolte, D.

Zur Auswertung ganzkörperplethysmographischer
Meßergebnisse.
Med. thorac. 24: 371-378 (1967)

Pflüger, E.

Das Pneumonometer.
Pflügers Arch. ges. Physiol., Bonn,
29: 244 - 246 (1882)

Prandtl, A., P. Gebele, G. Feßler

Gaskampfstoffe und Gasvergiftungen.
Gmelin-Verlag, München (1937)

Reich, Th.

Idee und Praxis der Medizinischen Statistik,
Huber-Verlag, Bern-Stuttgart (1964)

Reichel, G.

Die Ganzkörperplethysmographie, Methodik und
klinische Bedeutung,
XVeme Congres Int. de Med. du Travail,
Proceedings 4: 647 - 650 (1966)

Rumpf, H.

Über die Gasschutzmittel, atemtechnische und
atemphysiologische Beobachtungen und ihre Be-
deutung für den Gebrauch der Gasmaske.
Dtsch. med. Wschr. 58: 1634 (1932)

Schleusing, G., R. Ohl

Untersuchungen über auftretende Erschwernisse
bei dem Tragen von Atemschutzgeräten.
Int. Z. angew. Physiol. 24: 81 - 101 (1967)

Schneider, K.

Blutgase und Kreislauf bei Arbeit unter der
Gasmaske.
Arbeitsphysiol. 11: 10 - 24 (1940)

Silvermann, L.

Bindung organischer Gase und Dämpfe.
I. Industr. Hyg. and Toxicol. 28: 5, 183 - 196
(1946)

Stampe, G.

Wie lange hält ein Dräger Atemfilter?
Dräger-Prospekte, 2. Aufl., 1330 (1957)
und Dräger-Hefte 229: 4932 (1956)

Ulmer, W.T., E. Reif

Die obstruktiven Erkrankungen der Atemwege.
Dtsch. med. Wschr. 90, 41: 1803 - 1809 (1965)

Ulmer, W.T., E. Reif, W. Weller

Die obstruktiven Atemwegserkrankungen, 83 - 90,
Thieme-Verlag, Stuttgart (1966)

Valentin, H., D. Szadkowski, H.-J. Weitowitz

Chronische Bronchitis und Staubbelastrung am
Arbeitsplatz aus klinischer und funktionsana-
lytischer Sicht.
Arbeitsmed. Sozialmed. Arbeitshyg., 4: 125 - 129
(1967)

Valentin, H., H.-J. Weitowitz

Chronische Bronchitis und Lungenemphysem als
arbeitsmedizinisches Problem.
Internist, 5: 165 - 172 (1967)

Weichhardt, H.

Arbeitshygiene in der chemischen Industrie
in: Handbuch d. ges. Arbeitsmed., 4/2: 529-571,
Verlag Urban und Schwarzenberg,
Berlin-München-Wien (1963)

Wick, R., M.J. Jaeger, M. Scherrer

Vor- und Nachteile der Körperplethysmographie
als klinische Lungenfunktionsprüfung.
Med. thorac. 21: 315 - 334 (Basel, 1964)

Wittgens, H.

-Spezielle med. Berufskunde,
-Arbeitskleidung und Arbeitsschutzstücke,
-Arbeitshygiene bei der Eisenbahn
in: Handbuch d. ges. Arbeitsmed.,
5 (1961), 4/1 (1963), 4/2 (1963)

Weitowitz, H.-J., F.W. Buchheim, R. Weitowitz

Zur Theorie und Praxis der Ganzkörperplethys-
mographie in der Lungenfunktionsanalyse.
Prax. Pneumol. 21, 8: 449 - 471 (1967)

Worth, G.

Silikose, in: Handbuch d. ges. Arbeitsmed.,
2/2: 144 - 197, Verlag Urban und Schwarzenberg,
Berlin-München-Wien (1961)

Zobel, H., H. Drasche

Arbeitshygiene - Normen, in: Handbuch d. ges.
Arbeitsmed., 4/2: 76 - 88, Verlag Urban und
Schwarzenberg, Berlin-München-Wien (1963)

N a c h w o r t

Herrn Professor Dr. med. H. Valentin danke ich ergebenst für die Überlassung des Themas und die mir stets zuteil gewordene Förderung.

Herrn General von Butler und Herrn Oberstarzt Dr. med. Lingg danke ich gehorsamst für die großzügige Unterstützung bei der Abkommandierung der Soldaten, die sich freiwillig und hilfsbereit für die Untersuchungen zur Verfügung stellten.

Herrn Oberarzt Priv.-Doz. Dr. med. G. Lehnert, Herrn Dr. med. D. Szadkowski und Herrn Dr. med. H.-J. Woitowitz sowie den medizinisch-technischen Assistentinnen und Krankenschwestern des Institutes danke ich herzlich für ihre Hilfe während und nach den Untersuchungen.

Lebenslauf

Am 22. Dezember 1934 wurde ich als zweites Kind des Zahn-
arztheepaares Dr. med. dent. Kurt Müller und Dr. med. dent.
Ilse Müller, geb. Kuba, in Münchberg/Ofr. geboren.

Nach dem Besuch der Volks- und Oberschule in Münchberg bis
1950 und des Graf Zeppelin-Gymnasiums in Friedrichshafen a.B.
bis zum Abitur im Jahre 1955, trat ich am 2. Januar 1956 in
die Bundeswehr ein.

Mit meiner Beförderung zum Leutnant im Frühjahr 1957 wurde ich
als Berufssoldat von der Bundeswehr übernommen. Bis zu meinem
freiwilligen Ausscheiden aus dem aktiven Militärdienst am 20.
Juni 1963 war ich Zugführer, Lehrgangsleiter, Kompaniechef
und schließlich Sachbearbeiter für Ausbildungs- und Einsatz-
fragen in einem süddeutschen Stab. Mein derzeitiger Dienst-
grad ist Hauptmann d.R.

Im Sommersemester 1963 begann ich an der Friedrich-Alexander-
Universität mit dem Medizinstudium und legte hier am 3. Febru-
ar 1969 die ärztliche Prüfung ab.

Erlangen, 17. Februar 1969.

Klaus Müller.

